Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs

Bâtiments commerciaux et institutionnels

ÉCOLES DU PRÉSCOLAIRE AU SECONDAIRE

Canada

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs

Bâtiments commerciaux et institutionnels

ÉCOLES DU PRÉSCOLAIRE AU SECONDAIRE

Canada

Also available in English under the title: Major Energy Retrofit Guidelines – K–12 Schools

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à nrcan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca

Ce rapport est disponible en ligne à l'adresse suivante :
rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/eebe/renovation/4112

N° de cat. M144-268/3-2018F-PDF
ISSN 978-0-660-24754-0

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada,
représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada
Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

REMERCIEMENTS

Ces directives sont une adaptation du document *ENERGY STAR Building Upgrade Manual* de l'Environmental Protection Agency des États-Unis. Ressources naturelles Canada remercie sincèrement tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ces documents.

AVERTISSEMENT

Sa Majesté n'est pas responsable de l'exactitude et de l'intégrité des renseignements contenus dans le matériel reproduit. Sa Majesté doit en tout temps être indemnisée et tenue exempte du paiement de toute réclamation qui découle de la négligence ou d'un autre manquement dans l'utilisation des renseignements contenus dans cette publication ou dans ce produit.

TABLE DES MATIÈRES

POSSIBILITÉS DE RÉAMÉNAGEMENTS ÉNERGÉTIQUES DANS LES ÉCOLES DU PRÉSCOLAIRE AU SECONDAIRE 1

Aperçu des écoles du préscolaire au secondaire 1

Appel à l'action 1

Possibilités et défis 2

Profil de la consommation d'énergie 5

Organisation des mesures du projet 7

Commissioning des bâtiments existants 8

Améliorations de l'éclairage 15

Aires principales 20

Gymnase 22

Extérieur et stationnement 23

Réduction des charges supplémentaires 24

Charges électriques et équipement 24

Enveloppe 28

Amélioration des systèmes de distribution de l'air 38

Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement 53

Systèmes de chauffage centraux 53

Systèmes de refroidissement centraux 65

Unités de toit 69

Eau chaude domestique 73

COMMISSION SCOLAIRE DU COMTÉ DE SIMCOE : UNE ÉTUDE DE CAS 76

MON INSTALLATION 82

Figures

Figure 1. Consommation d'énergie commerciale et institutionnelle par sous-secteur 2
Figure 2. Consommation d'énergie par source d'énergie 5
Figure 3. Consommation d'énergie par utilisation finale 5
Figure 4. Distribution de l'intensité énergétique du site pour un échantillon d'écoles du préscolaire au secondaire canadiennes 6
Figure 5. Diagramme simplifié d'un protocole ouvert pour un système de contrôle automatique de bâtiments 14
Figure 6. Tablette réfléchissante intérieure 16
Figure 7. Niveaux d'efficacité des appareils standards en comparaison des appareils écoénergétiques de la NEMA 28
Figure 8. Transfert thermique par l'enveloppe du bâtiment 29
Figure 9. Imagerie infrarouge montrant une fuite autour de l' ouverture d'une fenêtre 30
Figure 10. Caractéristiques d'une fenêtre écoénergétique 35
Figure 11. Rendement thermique des gaz de remplissage 36
Figure 12. Ventilation selon la demande dans une cuisine commerciale 43
Figure 13. Chauffage par poutres froides 47
Figure 14. Ventilation par déplacement d'air 48
Figure 15. Température de l'eau de retour et incidence sur l'efficacité de la chaudière 58
Figure 16. Centrale de refroidissement 65
Figure 17. Configuration type d'une unité de toit 69
Figure 18. Interprétation de la cote ENERGY STAR 84

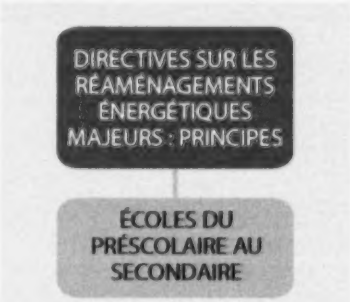
Tableaux

Tableau 1. Recommandations en matière d'éclairement dans les écoles 19
Tableau 2. Équipement de cuisine et économies d'énergie 26
Tableau 3. Cotes d'efficacité de chaudières 54
Tableau 4. Coût et efficacité des types de combustibles de chaudière à la biomasse 60
Tableau 5. Évolution des normes d'efficacité des unités de toit 70

PARTIE 1

POSSIBILITÉS DE RÉAMÉNAGEMENTS ÉNERGÉTIQUES DANS LES ÉCOLES DU PRÉSCOLAIRE AU SECONDAIRE

Le Module sur les écoles du préscolaire au secondaire complète l'approche de réaménagements énergétiques éprouvée décrite dans le Module sur les principes. Dans ce module, qui devrait être considéré comme un document d'accompagnement du Module sur les principes, il est question des stratégies, des priorités et des possibilités propres aux écoles du préscolaire au secondaire.



Le Module sur les écoles comprend trois parties :

1) **Possibilités de réaménagements énergétiques dans les écoles :** Cette partie fournit un aperçu des écoles canadiennes. Les sous-sections présentent de l'information de base sur chaque phase de réaménagement et sur les principales mesures de réaménagement, surtout dans les petites et les moyennes écoles.
2) **Étude de cas :** L'étude de cas présente un projet de réaménagement énergétique majeur réussi.
3) **Mon installation :** Cette partie comporte un questionnaire sur les possibilités d'efficacité énergétique pour vous aider à définir les possibilités qui s'appliquent à votre installation.

Aperçu des écoles du préscolaire au secondaire

Appel à l'action

Les bâtiments commerciaux et institutionnels représentent environ un huitième de la consommation d'énergie au Canada[1]. Au cours des 20 prochaines années, le parc de bâtiments commerciaux devrait connaître une expansion de plus de 60 %, et on s'attend à ce que 40 % des bâtiments existants soient réaménagés[2].

La figure 1 montre que, dans le secteur des bâtiments commerciaux et institutionnels, la consommation d'énergie dans le sous-secteur des écoles du préscolaire au secondaire est la troisième en importance, derrière les bureaux et les commerces alimentaires, représentant 8 % de la consommation sectorielle. Comme son nom l'indique, ce sous-secteur comprend les écoles du préscolaire au secondaire depuis la maternelle jusqu'à la 12e année. Il n'inclut pas les locaux d'enseignement des collèges, des cégeps et des universités, ni les écoles de formation professionnelle, les écoles de métiers, les écoles techniques, ni les centres préscolaires et les garderies.

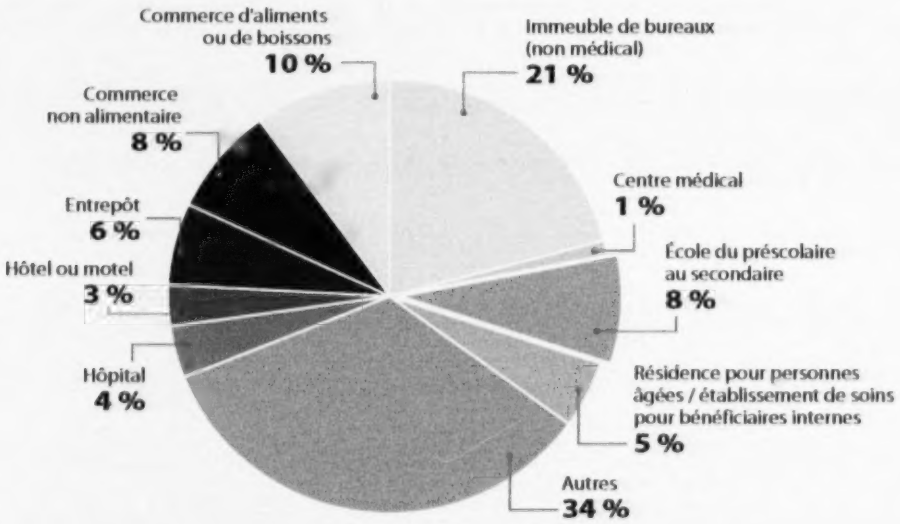
Les écoles du préscolaire au secondaire regroupent les espaces d'installations utilisés comme bâtiments scolaires pour les élèves du préscolaire jusqu'aux élèves du niveau secondaire. Cela n'inclut pas les salles de cours et les laboratoires de collèges et d'universités, ni les écoles de formation professionnelle, les écoles de métiers et les écoles techniques. La superficie comprend toutes les fonctions de soutien, par exemple les locaux administratifs, les cuisines, les halls, les cafétérias, les gymnases et les salles de classe mobiles.

[1] Ressources naturelles Canada. 2013. *Guide de données sur la consommation d'énergie, 1990-2010.*

[2] Commission de coopération environnementale. 2008. *Scénarios énergétiques liés au bâtiment écologique d'ici 2030.*

PARTIE 1

Figure 1. Consommation d'énergie commerciale et institutionnelle par sous-secteur



Source des données : Ressources naturelles Canada. 2012. *Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie – Bâtiments 2009 : Rapport statistique détaillé.*

Environ les deux tiers des écoles du préscolaire au secondaire du Canada ont été construites avant 1980[3]. Étant donné que le parc de bâtiments prend de l'âge, il existe une immense possibilité de procéder à des réaménagements majeurs, qui permettront d'améliorer le rendement énergétique des écoles du pays.

Par la mise en œuvre d'une stratégie éprouvée de réaménagements énergétiques majeurs, qui commence par l'analyse comparative à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager, vous pouvez avoir un effet positif sur les résultats liés à vos bâtiments.

Possibilités et défis

Les écoles ont une incidence dans la vie de la majorité des Canadiennes et Canadiens. Les intéressés comprennent non seulement les élèves, les enseignants et le personnel, mais aussi les parents et la communauté locale. Nous avons tous une importante responsabilité, soit celle de nous assurer que nos enfants passent leurs journées dans un environnement sain et sécuritaire, qui favorise un apprentissage efficace. Nous devons par ailleurs voir à ce que le financement disponible soit utilisé à bon escient.

[3] Ressources naturelles Canada. 2012. *Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle énergie 2009 - Bâtiments : Rapport statistique détaillé.*

PARTIE 1

Bien que les coûts énergétiques soient la plus grande dépense d'exploitation des écoles canadiennes après les salaires, il existe une série de besoins urgents qui ne doivent pas être négligés, par exemple la santé des élèves, les résultats des tests et des ressources d'enseignement adéquates. La bonne nouvelle est que l'énergie est une des rares dépenses pouvant être diminuées sans avoir d'incidence négative sur l'enseignement en classe. En fait, les améliorations énergétiques peuvent souvent mener à des salles de classe plus saines et des milieux d'apprentissage améliorés.

En plus des avantages non énergétiques, de nombreuses raisons physiques et techniques peuvent vous inciter à vouloir effectuer des réaménagements majeurs à votre école. Des biens d'équipement majeurs ou l'infrastructure des bâtiments, par exemple la chaudière ou la toiture, peuvent approcher de leur fin de vie utile. L'école peut être aux prises avec des problèmes liés au contrôle de l'équipement (p. ex. chauffage insuffisant) ou avec un équipement défectueux en conséquence d'un entretien reporté. Des changements majeurs sur le plan de l'espace intérieur peuvent aussi être des éléments déclencheurs de travaux de réaménagements. Peu importe les raisons, les écoles rencontreront plusieurs possibilités et de défis communs au moment de procéder à des réaménagements énergétiques majeurs.

Possibilités

Les économies de coûts sont indéniablement un des premiers moteurs de la majorité des investissements des commissions scolaires dans les projets d'efficacité énergétique. Les économies d'énergie, qui entraînent une diminution des dépenses pour les services publics, peuvent aider à libérer des ressources pour être attribuées à d'autres priorités concurrentes. Une consommation d'énergie diminuée a également pour effet de limiter votre vulnérabilité aux fluctuations des prix de l'énergie, en plus de réduire vos émissions de gaz à effet de serre.

Outre les économies d'énergie, plusieurs avantages peuvent, dans certains cas, constituer des moteurs dominants pour la réalisation d'un projet. La recherche suggère que la performance scolaire est influencée par la qualité de l'air intérieur (QAI), le confort thermique, l'acoustique et l'éclairage[4]. Plus particulièrement, les écoles qui entreprennent des projets de réaménagements majeurs ont aussi la possibilité d'améliorer ce qui suit :

- Qualité de l'air intérieur : La QAI peut être affectée par les gaz tels que le radon et le dioxyde de carbone (CO_2), la moisissure, les particules telles que la poussière et le pollen, ainsi que les produits chimiques tels que le formaldéhyde. Une mauvaise QAI a une incidence plus grande sur les enfants que sur les adultes, parce que leurs taux métaboliques et leurs rythmes respiratoires sont plus élevés; en outre, elle entraîne un nombre élevé d'absences attribuables à des infections respiratoires, des allergies et des crises d'asthme. En améliorant les systèmes de ventilation et de filtration dans le cadre d'un projet de réaménagement majeur, on peut améliorer la QAI.

Exemple :
Conseil scolaire de district catholique York
Région de York (Ontario)

Le programme EcoChampions du Conseil scolaire de district catholique York aide les élèves à visualiser les économies d'énergie. Des compteurs d'intervalles, installés dans des dizaines d'écoles, sont raccordés au système de contrôle automatique de bâtiment. Les statistiques sur la consommation d'énergie provenant du compteur sont affichées sur un moniteur dans la salle publique de l'école et dans les salles de classe au moyen de l'intranet. Si les seuils de consommation d'énergie préétablis sont dépassés, des signaux DEL *Économiser l'énergie* clignotent dans toutes les salles de classe et aires publiques, et un plan d'économies d'énergie est mis en branle. Au fur et à mesure que chaque stratégie est introduite, les élèves peuvent se connecter au site intranet ou regarder le moniteur du système central pour voir le fruit de leurs efforts de conservation.

Le coût total du programme, principalement pour les compteurs, les luminaires DEL et le câblage, s'élevait à environ 7 000 $ par école, pour une période de récupération des coûts d'un peu plus de deux ans.

Source : Ministère de l'éducation de l'Ontario. *Guide de ressources sur les écoles vertes.*

[4] Kats, G. 2006. *Greening America's Schools: Costs and Benefits. Capital E.*

1 PARTIE

Vous devez définir les éléments déclencheurs des réaménagements majeurs uniques à votre installation afin d'optimiser le calendrier de vos projets et d'incorporer l'efficacité énergétique dans votre plan d'immobilisations. Pour en savoir plus, consultez la section 2 du Module sur les principes.

Vous devriez aussi envisager de satisfaire, ou idéalement de surpasser, les exigences de rendement minimales énoncées dans la plus récente version du *Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada* (CNÉB).

- Confort thermique : Si les salles de classe sont trop froides ou trop chaudes, les élèves ont de la difficulté à se concentrer et à participer activement aux activités. Rénover ou remplacer l'équipement de chauffage et de climatisation désuet et inefficace peut permettre d'améliorer le confort thermique et avoir un effet positif sur la performance scolaire.
- Éclairage : Pour pouvoir parler de confort visuel, la quantité, la distribution et la qualité de la lumière doivent permettre aux gens de voir les objets avec précision, sans se fatiguer les yeux[5]. Les réaménagements de l'éclairage qui offrent une meilleure qualité de couleur, utilisent l'éclairage direct et indirect et augmentent la quantité de lumière naturelle dans les salles de classe sont toutes des initiatives qui peuvent améliorer le confort visuel. La California Energy Commission suggère que la lumière naturelle améliore l'apprentissage dans une proportion pouvant aller jusqu'à 21 %[6].
- Acoustique : Les bruits provenant de l'extérieur de l'école, des couloirs, des autres salles de classe et des systèmes des bâtiments (p. ex. ventilateurs, chaudières, compresseurs) peuvent avoir un effet négatif sur la concentration des élèves. Les réaménagements majeurs sont l'occasion non seulement d'installer de l'équipement plus silencieux, mais aussi de réduire le bruit extérieur en améliorant l'enveloppe.
- Sécurité : La sécurité des élèves et des enseignants peut être améliorée grâce à la réaménagement de l'éclairage extérieur ainsi que celui des couloirs et des cages d'escaliers.

Un projet de réaménagement majeur peut aussi servir d'outil d'apprentissage en offrant d'importantes occasions en matière de programmes. Les élèves peuvent apprendre comment l'énergie est consommée dans les écoles, être sensibilisés aux gestes qu'ils peuvent poser pour réduire la consommation d'énergie et comprendre quel est le lien entre l'énergie et leurs cours de mathématiques et de sciences environnementales.

Enfin, l'analyse comparative du rendement énergétique de votre bâtiment présente une possibilité en soi. En effectuant une analyse comparative au début d'un processus de réaménagement, et à nouveau durant les phases d'améliorations, vous pourrez mesurer les améliorations relatives, justifier les dépenses et établir une nouvelle base de référence pour vous aider à surveiller le rendement futur.

Défis

Le financement est souvent le principal obstacle qui empêche la mise en œuvre de projets de réaménagements majeurs dans les écoles. Les commissions scolaires se démènent parfois pour faire des budgets appropriés pour les projets d'exploitation, d'entretien et d'immobilisations. Lorsque les budgets sont restreints, il est souvent plus acceptable d'effectuer des coupures dans ces créneaux plutôt que de faire des

[5] educate-sustainability.eu/kb/content/parameters-visual-comfort (en anglais seulement).

[6] California Energy Commission. 2003. *Summary of Daylighting In Schools: Reanalysis Report.*

PARTIE 1

changements qui auront une incidence sur les ressources éducatives et le personnel enseignant. Il en résulte un cycle de rétroaction négatif, caractérisé par un manque d'entretien préventif et le report du remplacement des équipements, qui entraînent un mauvais fonctionnement des équipements et des coûts énergétiques plus élevés.

Heureusement, des mécanismes financiers innovateurs et rentables peuvent aider à fournir le capital nécessaire. Les contrats de services de rendement énergétique sont un exemple d'option de financement pouvant être appropriée pour les commissions scolaires souhaitant mettre en œuvre des projets de réaménagements énergétiques majeurs dans un portefeuille de bâtiments. Conformément à ce type de contrats, le risque est transféré à un tiers (une entreprise de services éconergétiques, ou ESE), qui offre un service de conception et d'installation clé en main et garantit le financement à ses propres risques. L'ESE vérifie les économies d'énergie annuelles et reçoit une portion de leur valeur. Les économies sont souvent garanties pour une période de temps définie.

Profil de la consommation d'énergie

Lorsque vous planifiez un projet de réaménagement majeur, vous devez considérer le profil de la consommation d'énergie d'une école canadienne type. Même si les profils de consommation d'énergie spécifiques varieront, l'exemple ci-dessous peut servir à donner une indication générale de votre consommation d'énergie.

Figure 2. Consommation d'énergie par source d'énergie

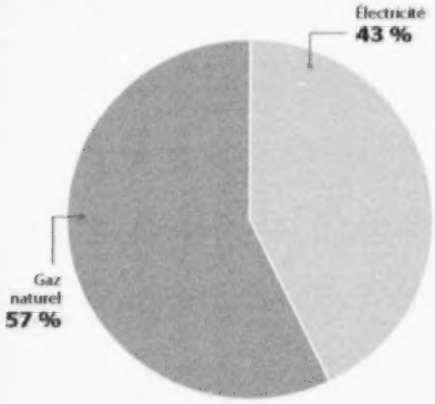
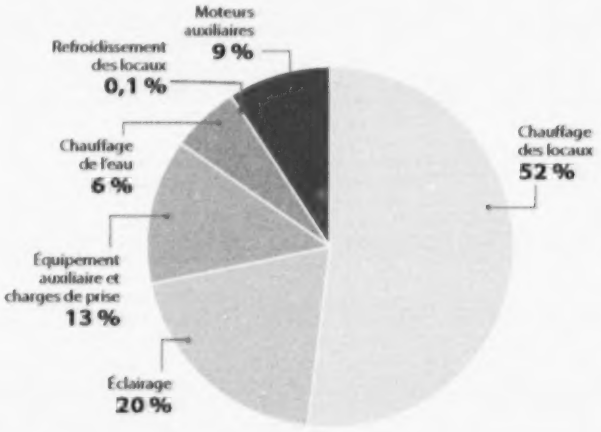


Figure 3. Consommation d'énergie par utilisation finale



Données sur l'utilisation finale pour une école du préscolaire au secondaire moyenne située à l'intérieur des terres en Colombie-Britannique, où les conditions climatiques sont similaires à celles d'autres régions métropolitaines du Canada.

Données fournies par FortisBC.

1 PARTIE

Pour de nombreux types de bâtiments commerciaux et institutionnels, dont les écoles du préscolaire au secondaire, ENERGY STAR Portfolio Manager attribue une cote ENERGY STAR sur une échelle de rendement énergétique de 1 à 100, par rapport aux bâtiments similaires.

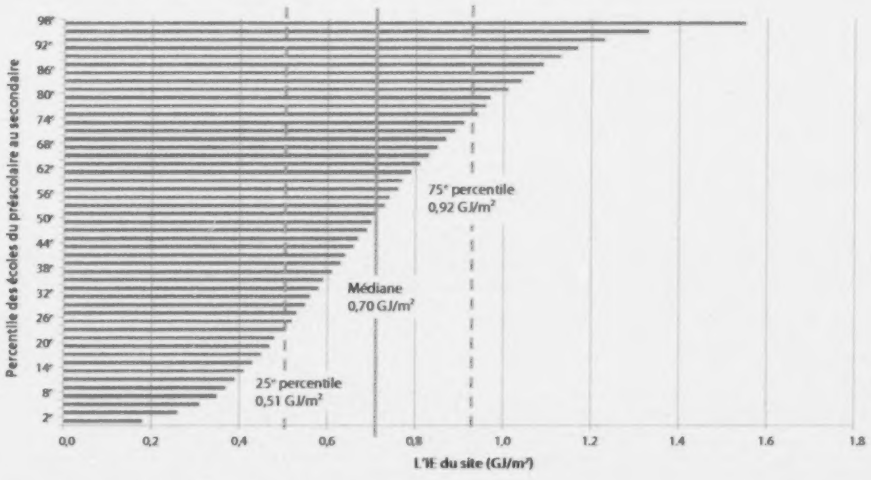
Les écoles peuvent être constituées de plusieurs bâtiments qui sont tous inhérents à l'activité principale. Par exemple, un premier bâtiment peut contenir des salles de classe, un deuxième peut contenir le gymnase, et un autre pourrait être une salle de classe mobile. Dans un tel cas, il est possible d'obtenir une cote ENERGY STAR pour le complexe en entier, pourvu que la consommation d'énergie est mesurée et déclarée pour tous les bâtiments du complexe.

La figure 2 montre la répartition de la consommation d'énergie par source d'énergie. Le gaz naturel répond à plus de la moitié des besoins énergétiques d'une école type. La figure 3 montre la répartition de la consommation par utilisation finale. Le chauffage des locaux est la plus importante utilisation finale, suivie de l'éclairage, de l'équipement auxiliaire et des charges des prises (p. ex. les charges des prises pour les ordinateurs et pour l'équipement divers comme les réfrigérateurs et l'équipement de service alimentaire de la cafétéria).

L'intensité énergétique (IE) des écoles peut varier considérablement et est influencée par les conditions météorologiques, qu'il s'agisse d'une école élémentaire ou secondaire, et par les caractéristiques de fonctionnement spécifiques comme le nombre d'enseignants et d'élèves, la taille du gymnase, la présence d'une piscine intérieure et le pourcentage de la superficie qui est chauffée et climatisée.

La figure 4 présente la distribution générale de l'IE normalisée d'un échantillon d'écoles du préscolaire au secondaire canadiennes.

Figure 4. Distribution de l'intensité énergétique du site pour un échantillon d'écoles du préscolaire au secondaire canadiennes



Source: ENERGY STAR Portfolio Manager, 2016

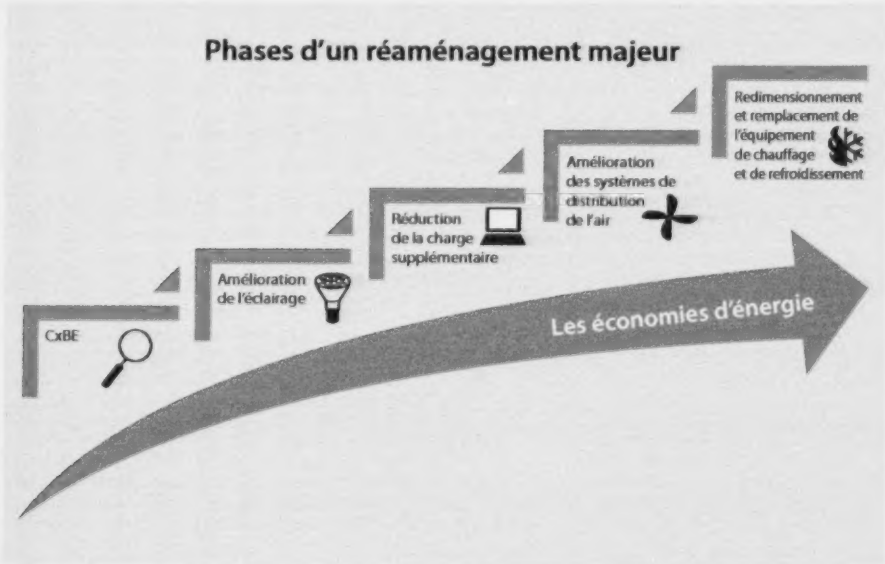
La ligne verticale solide montre que l'IE médiane du site pour les écoles entrées dans ENERGY STAR Portfolio Manager est de 0,70 GJ/m² (18,06 kWh éq/pi. ca.). Les écoles situées dans le 25e percentile de cet ensemble de données ont des IE inférieures à 0,51 GJ/m² (13,16 kWh éq/pi. ca.), et celles qui sont situées au-delà du 75e percentile ont des IE supérieures à 0,92 GJ/m² (23,74 kWh éq/pi. ca.). L'IE médiane nationale selon l'*Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie* de 2009 est de 0,70 GJ/m² (18, 06 kWh éq/pi. ca.).

PARTIE 1

Les écoles sont encouragées à effectuer l'analyse comparative de leur rendement énergétique ainsi que leur suivi à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager, l'outil d'analyse comparative de l'énergie le plus complet et le seul outil normalisé au Canada pour les écoles. L'analyse comparative vous permet de comparer votre consommation d'énergie courante par rapport au rendement passé ainsi que par rapport à des installations similaires. Les résultats fournissent une excellente base pour mesurer l'incidence des réaménagements en matière de consommation d'énergie et d'eau et sont un puissant facteur de motivation pour prendre des mesures afin d'améliorer le rendement énergétique de votre bâtiment.

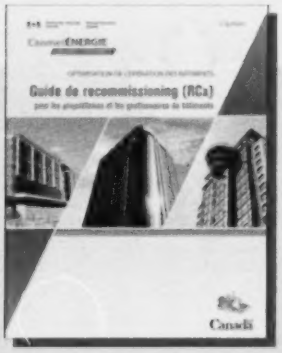
Organisation des mesures du projet

Comme il en a été question dans le Module sur les principes, la réalisation de réaménagements majeurs selon une approche par phases est la manière la plus efficace d'améliorer le rendement énergétique de votre installation.



Chaque phase comprend des améliorations qui influeront le choix des mesures effectuées aux phases suivantes. Cette approche assurera les plus importantes économies d'énergie et de coûts possibles.

PARTIE 1



Pour en savoir plus sur le commissioning des bâtiments existants, consultez le *Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*. Vous y apprendrez comment réduire vos dépenses et augmenter votre revenu grâce à un fonctionnement amélioré des bâtiments.

Commissioning des bâtiments existants

Le commissioning est une activité de premier ordre pour améliorer le rendement énergétique d'un bâtiment existant. Des études ont démontré que le commissioning d'un bâtiment existant (CxBE) de type école du préscolaire au secondaire entraîne généralement des économies d'énergie de 11 %, pour une période de récupération simple de seulement 1,5 an[7]. Les économies seront d'autant plus importantes si l'école a un programme d'exploitation et d'entretien déficient.

Les économies issues d'un processus de commissioning sont réalisées en améliorant le fonctionnement des bâtiments et en restructurant les procédures d'entretien. Le *Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*[8] et le *Guide des stratégies optimales à l'intention des gestionnaires d'établissements scolaires*[9] de Ressources naturelles Canada (RNCan) vous montrent comment réduire vos dépenses d'exploitation grâce à un fonctionnement amélioré des bâtiments.

À la section 1 du Module sur les principes, nous avons expliqué les quatre phases d'un programme de CxBE : évaluation, examen, mise en œuvre et transfert.

Durant les phases d'évaluation et d'examen, une étude détaillée sur les systèmes existants est effectuée, y compris la documentation de la configuration et de la séquence des opérations. Il en résulte une meilleure connaissance des opérations ainsi qu'une liste de mesures permettant de corriger les défaillances.

Durant la phase de mise en œuvre, les défaillances sont corrigées, et les possibilités d'économies définies lors des phases d'évaluation et d'examen peuvent être mises en œuvre. La philosophie générale du travail réalisé à cette étape consiste à s'assurer que tous les systèmes, équipements et contrôles du bâtiment sont adéquatement configurés et pleinement opérationnels.

Les mesures énumérées ci-dessous représentent quelques améliorations types apportées grâce à un processus de CxBE. Il est important que toute mesure soit effectuée avec son propre processus de commissioning afin d'assurer l'optimisation des réaménagements effectués aux systèmes[10].

---

[7] Mills, E. 2009. *Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2009. Préparé pour la California Energy Commission.

[8] *Optimisation de l'opération des bâtiments : Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments*. rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/recherche/optimisation/recommissioning/3796.

[9] *Guide des stratégies optimales à l'intention des gestionnaires d'établissements scolaires*. rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oee/files/pdf/publications/29GUID-1.pdf.

[10] La norme Z32011 de l'Association canadienne de normalisation (disponible en anglais seulement) fournit des lignes directrices concernant le commissioning des bâtiments et de tous les systèmes connexes. Elle a été élaborée pour traiter les bâtiments et leurs systèmes majeurs comme un tout, plutôt que comme des composants individuels ou indépendants. Elle peut être appliquée à une nouvelle construction ainsi qu'aux rénovations effectuées à des installations ou des bâtiments existants : shop.csa.ca/fr/canada/systemes-de-construction/z320-f11-/invt/27032582011.

PARTIE 1

Liste des mesures de CxBE

- ✓ Confirmer la correspondance de l'horaire de contrôle de l'éclairage
- ✓ Confirmer que l'horaire d'exploitation du système de traitement de l'air correspond à l'occupation du bâtiment
- ✓ Employer une remise du point de consigne de la température durant les heures d'inoccupation
- ✓ Vérifier le fonctionnement du système de refroidissement naturel (côté air)
- ✓ Fermer les valves des serpentins de chauffage lors de la saison de refroidissement
- ✓ Élargir la plage morte de températures de la zone
- ✓ Réinitialiser le point de consigne de l'air d'alimentation
- ✓ Tester et ajuster les taux de ventilation
- ✓ Fermer les registres d'air extérieur lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage
- ✓ Effectuer une purge matinale durant la saison de refroidissement lorsque les conditions le permettent
- ✓ Utiliser une réinitialisation de la pression statique
- ✓ Corriger le fonctionnement des registres d'air
- ✓ Abaisser les points de consigne minimaux des boîtes de débit d'air variable
- ✓ Calibrer les capteurs du système de contrôle automatique de bâtiment
- ✓ Réinitialiser le point de consigne de l'eau des chaudières
- ✓ Réparer l'isolation endommagée des conduits ou remplacer celle qui est manquante

- **Confirmer la correspondance de l'horaire de contrôle de l'éclairage :** Confirmez que l'horaire de contrôle de l'éclairage correspond à l'occupation réelle et explorez les possibilités de réduction des heures de fonctionnement en diminuant ou en éliminant les activités après les heures normales de travail (p. ex. nettoyage) en les déplaçant durant les heures d'occupation existantes. Les contrôles devraient généralement être configurés de façon à éteindre l'éclairage intérieur à un moment défini, mais pas à l'allumer automatiquement; le personnel doit allumer les lumières lorsqu'il arrive le matin.

PARTIE 1

Exemple :
École élémentaire
Our Lady of Peace,
Laval (Québec)

Our Lady of Peace a réduit ses coûts énergétiques de 17 % en mettant en place un programme complet de commissioning, qui incluait l'optimisation des contrôles du système de ventilation et l'activation des baisses de température la nuit et les fins de semaine. Un investissement de 35 000 $ a permis de faire des économies d'énergie de plus de 7 000 $ par année, pour une période de récupération simple d'environ cinq ans.

Source : Ressources naturelles Canada

- **Confirmer que l'horaire d'exploitation du système de traitement de l'air correspond à l'occupation du bâtiment :** Lorsque de l'équipement fonctionne plus longtemps que nécessaire, des pertes d'énergie s'ensuivent. Bien souvent, les horaires d'exploitation des équipements sont temporairement étendus, pour être ensuite oubliés. Vérifiez les horaires d'exploitation des équipements relativement aux contrôles des bâtiments, aux minuteries mécaniques ou aux réglages des thermostats pour vous assurer qu'ils correspondent le plus possible à l'occupation.

- **Employer une remise du point de consigne de la température durant les heures d'inoccupation :** Un des moyens les plus rentables de réduire la consommation d'énergie est de changer le point de consigne pour la température du bâtiment lorsqu'il est inoccupé, c'est-à-dire en laissant le thermostat descendre plus bas que le point de consigne pour la période d'occupation durant la saison de chauffage, et monter plus haut que celui-ci durant la saison de refroidissement. Une remise des points de consigne de température se situe généralement de 2 à 5 °C; cependant, les niveaux réellement appropriés de ces températures dépendent du temps de rétablissement de l'équipement de CVCA de votre installation, c'est-à-dire le temps qu'il faut pour rétablir la température à un niveau confortable avant l'arrivée du personnel et des élèves. Vérifiez le point de consigne du chauffage et celui du refroidissement durant les heures d'inoccupation et assurer qu'elles sont activées.

- **Vérifier le fonctionnement du système de refroidissement naturel (côté air) :** En mode de refroidissement naturel, l'économiseur et les registres d'air extérieur d'un bâtiment sont complètement ouverts pour faire entrer une quantité maximale d'air extérieur plus sec et plus frais. Les stratégies pour contrôler la possibilité de refroidissement naturel comprennent, entre autres, l'enthalpie fixe, l'enthalpie différentielle et le thermomètre sec différentiel.

  L'entretien des économiseurs est souvent négligé ou même oublié dans maints appareils de traitement de l'air. Une étude préparée par le New Buildings Institute en 2004 a révélé que 64 % des économiseurs cessaient de fonctionner en raison de registres et d'actionneurs brisés ou grippés, de capteurs défectueux ou de contrôles incorrects[11].

  Un économiseur qui n'est pas contrôlé correctement peut passer inaperçu, parce que le refroidissement mécanique compensera pour maintenir la température de sortie au point de consigne. Cela peut comprendre des périodes de temps au cours desquelles une quantité insuffisante ou excessive d'air extérieur est introduite par un appareil de traitement de l'air. Le fait de ne pas corriger ou du moins atténuer cette situation provoquera vraisemblablement une consommation d'énergie accrue, attribuable au fonctionnement du ventilateur, au refroidissement et au chauffage.

[11] New Buildings Institute. 2004. *Review of Recent Commercial Roof Top Unit Field Studies in the Pacific Northwest and California*, 8 octobre 2004. newbuildings.org/sites/default/files/NWPCC_SmallHVAC_Report_R3_.pdf (en anglais seulement).

L'incidence d'un économiseur défectueux est importante. Par exemple, toutes zones climatiques canadiennes confondues, une étude récente a révélé que les économies d'énergie annuelles moyennes pouvant être réalisées au moyen du refroidissement naturel dans un bâtiment de 5 000 m^2 correspondent à environ 19 000 kWh[12].

- **Fermer les valves des serpentins de chauffage lors de la saison de refroidissement :** Bon nombre de serpentins de préchauffage et de valves contrôlant le débit d'eau chaude au serpentin de chauffage de l'appareil de traitement de l'air devraient être fermés durant la saison de refroidissement afin de prévenir le chauffage accidentel ou inutile.
- **Élargir la plage morte de températures de la zone :** La plage morte de températures de la zone (l'éventail des températures où la zone n'est ni chauffée, ni refroidie) peut être élargie pour prévenir la « lutte » inutile entre les systèmes de chauffage et de refroidissement, minimisant ainsi la consommation d'énergie. Cela permet aussi d'atténuer l'instabilité des systèmes de chauffage et de refroidissement, causée par le cycle à court terme entre les modes de chauffage et de refroidissement.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'air d'alimentation :** Les conditions météorologiques modérées, généralement à l'automne et au printemps, permettent un point de consigne plus élevé de l'air d'alimentation pour le refroidissement et un point de consigne réduit pour le chauffage.
- **Tester et ajuster les taux de ventilation :** Les taux de ventilation des écoles devraient répondre aux exigences de la norme 62.1 de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Ces exigences ont été établies pour maintenir la qualité de l'air intérieur (QAI), un aspect particulièrement important pour les écoles. Une mauvaise QAI a une incidence sur la performance scolaire des élèves et a tendance à affecter davantage les jeunes que les adultes. On peut économiser l'énergie en s'assurant que les taux de ventilation ne dépassent pas les exigences d'ASHRAE.
- **Fermer les registres d'air extérieur lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage :** Lorsque le réchauffement du bâtiment s'effectue avant l'arrivée du personnel et des élèves, assurez-vous que les registres d'air extérieur sont complètement fermés. Ce geste permet d'économiser de l'énergie en chauffant l'air recirculé plutôt que l'air extérieur, plus froid.

[12] Taylor, S. et C. Cheng. 2010. « Why Enthalpy Economizers Don't Work ». *ASHRAE Journal*. Novembre 2010. nxtbook.com/nxtbooks/ashrae/ashraejournal_201011/index.php?startid=79#/14 (en anglais seulement).

PARTIE 1

- **Effectuer une purge matinale durant la saison de refroidissement lorsque les conditions le permettent :** Durant la saison de refroidissement, refroidissez le bâtiment au préalable avec de l'air extérieur à 100 % (lorsque les conditions le permettent) avant de démarrer le système de refroidissement mécanique. C'est le rôle du contrôleur, qui capte les conditions acceptables de l'air extérieur et achemine un signal prioritaire au registre d'air extérieur ou de l'économiseur pour activer l'ouverture complète. Durant ce mode opérationnel, la récupération de chaleur doit être désactivée pour tirer profit de ce refroidissement naturel.

- **Utiliser une réinitialisation de la pression statique :** Les systèmes de ventilateurs d'alimentation à débit d'air variable (DAV) sont souvent contrôlés de façon à maintenir la pression statique dans les conduits à un point de consigne unique. Une stratégie plus efficace, et qui est exigée par la norme ASHRAE 90.1-2010, consiste à utiliser un système à commande numérique directe (CND) pour réinitialiser le point de consigne de pression en fonction de la zone qui en exige le plus. Le point de consigne de pression statique peut être automatiquement réinitialisé grâce à une boucle de rétroaction de contrôle en fonction des zones, ce qui permet au ventilateur d'alimentation de maintenir le débit d'air nécessaire pour maintenir des conditions confortables dans les zones individuelles. La réinitialisation de la pression statique est une méthode très efficace pour réduire la consommation d'énergie du ventilateur dans les systèmes à DAV[13].

- **Corriger le fonctionnement des registres d'air :** En ce qui concerne les systèmes dotés de registres de zone à DAV, vous devez périodiquement inspecter les registres, les raccords et les actionneurs pour vous assurer qu'ils fonctionnent adéquatement. Dans les bâtiments plus vieux où l'entretien n'a pas été rigoureux, certains registres de zones peuvent être bloqués dans une position fixe, ce qui les empêche de régulariser le confort. L'évaluation et la réparation de ceux-ci peut prendre du temps et être coûteux (surtout dans les grandes écoles), mais en inspectant une partie des registres de zones dans le cadre de votre programme de commissioning en continu, tous les registres seront inspectés selon un cycle donné (p. ex. tous les deux ans).

- **Abaisser les points de consigne minimaux des boîtes de débit d'air variable :** Les fabricants de boîtes à DAV recommandent généralement un point de consigne de débit d'air minimal selon la taille de la boîte et l'option de contrôle standard. Cependant, lorsqu'on utilise un système à CND, le point de consigne minimal contrôlable réel dépendra des exigences propres à l'espace concerné et est habituellement beaucoup plus bas que le minimum programmé par le fabricant. La réduction du point de consigne minimal permettra de réduire l'alimentation du ventilateur.

[13] Taylor, Steven P. 2007. « Increasing Efficiency with VAV System Static Pressure Setpoint Reset ». *ASHRAE Journal*, juin 2007. ashrae.org/resources--publications/periodicals/ashrae-journal/ASHRAE-Journal-Article-Index-2007 (en anglais seulement).

- **Calibrer les capteurs du système de contrôle automatique de bâtiment :** Les systèmes de contrôle automatique de bâtiment utilisent l'information qui leur est acheminée par les divers capteurs installés dans le bâtiment. Les capteurs de température, de dioxyde de carbone et d'enthalpie (contenu énergétique total de l'air) ne sont que quelques exemples. Si les capteurs critiques installés dans un bâtiment ne sont pas précis (mal calibrés), les systèmes ne fonctionneront pas efficacement, les coûts augmenteront, et des problèmes de confort pourront survenir.
- **Réinitialiser le point de consigne de l'eau des chaudières :** Durant les saisons intermédiaires, les charges de chauffage des installations peuvent souvent être atteintes à l'aide de températures de l'eau de chauffage plus basses. La réinitialisation du point de consigne de l'eau en fonction de la température de l'air extérieur aide à faire correspondre le rendement de la chaudière à la charge réelle, ce qui se traduit par des économies d'énergie.
- **Réparer l'isolation endommagée des conduits ou remplacer celle qui est manquante :** Les inspections de routine de l'isolation des conduits de chauffage et de refroidissement peuvent aider à déterminer les réparations nécessaires. Sans isolation, l'énergie se perd sous forme de pertes à vide et de pertes cycliques (p. ex. perte de chaleur dans les espaces inoccupés lorsque l'eau chaude circule dans les conduits).

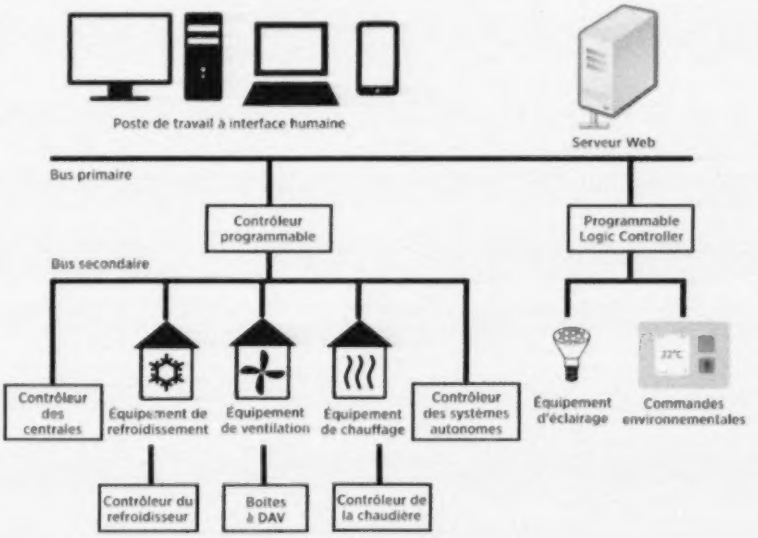
Système de contrôle automatique de bâtiments

Bon nombre de vieilles écoles n'ont pas de système de contrôle centralisé. Elles sont plutôt équipées de contrôles manuels, électromécaniques ou pneumatiques. En général, ces vieux contrôles ne fournissent pas de rétroaction exacte et en temps opportun aux exploitants et ne permettent habituellement pas de coordonner les différents systèmes de bâtiment (p. ex. les bâtiments peuvent être sujets au chauffage et au refroidissement simultanés). Les ajustements des contrôles sont souvent effectués selon une pratique historique ou selon « l'intuition ».

Grâce à l'installation d'un système de contrôle, plusieurs systèmes ou même tous les systèmes du bâtiment peuvent être reliés à un serveur central (figure 5), permettant à un exploitant de les surveiller et d'ajuster leurs interactions. Bien que cette mesure n'entraîne pas directement d'économies d'énergie, l'amélioration de la commandabilité des systèmes du bâtiment est tout de même une importante stratégie pour permettre d'en réaliser indirectement. Pour cette raison, l'installation d'un système de contrôle automatique est devenue une pratique commune dans les commissions scolaires.

PARTIE 1

Figure 5. Diagramme simplifié d'un protocole ouvert pour un système de contrôle automatique de bâtiments



Au cours des 25 dernières années, les systèmes à CND sont devenus la technologie dominante pour contrôler les systèmes de CVCA. Les systèmes à CND sont aussi fréquemment utilisés pour contrôler les systèmes d'éclairage et effectuer la surveillance à distance des systèmes de sécurité et d'alarme-incendie. Tous les systèmes à CND fonctionnent à partir du Web, afin que les exploitants puissent surveiller à distance leurs systèmes de CVCA, d'éclairage et de sécurité.

Au moment d'acheter un système de contrôle, pensez à installer un système dont le protocole de communications a un format ouvert. Grâce à un protocole ouvert, les composants de contrôle fabriqués par une entreprise sont compatibles avec les contrôles fournis par d'autres entreprises (interopérabilité). Ainsi, la flexibilité est accrue, et la performance optimisée, tandis que le remplacement et l'amélioration futurs de l'équipement s'en trouvent facilités. BACnet[14] est un exemple de protocole ouvert fréquemment utilisé.

[14] Norme ANSI/ASHRAE 135-2012 : BACnet® – A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks.

PARTIE 1

Améliorations de l'éclairage

L'éclairage représente environ 20 % de la consommation d'énergie dans les écoles canadiennes, et il a une incidence sur d'autres systèmes de bâtiment, parce qu'il exige de l'électricité et qu'il produit de la chaleur sensible. L'amélioration des systèmes d'éclairage en ayant recours à des sources lumineuses, des luminaires et des contrôles plus efficaces permet de réduire la consommation d'énergie liée à l'éclairage et d'améliorer l'environnement visuel; cette mesure peut même avoir une incidence sur la taille des systèmes de CVCA et électriques.

Les améliorations apportées aux systèmes d'éclairage sont souvent des investissements attrayants, en raison de leurs coûts d'investissements relativement faibles et de la courte période de récupération. Même de simples améliorations peuvent permettre de réduire la consommation d'énergie liée à l'éclairage selon un éventail situé entre 10 % et 85 %[15], en plus de pouvoir améliorer la performance scolaire des élèves et réduire leur taux d'absentéisme[16]. Si on considère que les densités de puissance d'éclairage des anciens codes sont au moins le double de celles des codes courants, il est possible de faire des économies d'énergie de l'ordre de 50 %, même sans contrôles additionnels.

L'éclairage et le *Code national de l'énergie pour les bâtiments* – Canada

Les densités de puissance d'éclairage (DPE) ont diminué en raison des percées effectuées sur le plan des systèmes d'éclairage écoénergétiques. En ce qui a trait aux écoles, le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments de 1997 permettait des DPE de 17,8 W/m^2 pour les écoles de la maternelle à la 8^e année et de 19,7 W/m^2 pour les écoles secondaires. Le CNÉB 2011 prescrit une DPE maximale de 10,7 W/m^2 pour les écoles. Ces changements sont essentiellement attribuables à l'efficacité améliorée de la technologie d'éclairage.

Guide de calcul de la DPE

1. Définir les limites de la zone d'étude, mesurer et calculer la superficie en mètres carrés.
2. Recueillir la puissance d'entrée ou l'ampérage pour chaque type d'appareil d'éclairage de la zone. Ce renseignement devrait figurer sur l'étiquette des données électriques apposée sur les appareils. Ne pas utiliser la puissance des lampes. Lorsque la puissance d'entrée est indiquée en watts, utiliser cette valeur. Lorsque la puissance d'entrée est indiquée en ampères, multiplier l'ampérage par la tension (120 V ou 347 V) pour obtenir la puissance.
3. Calculer la somme des puissances d'entrée des appareils et diviser en fonction de la superficie pour déterminer la DPE en watts par mètre carré.

[15] Consortium for Building Energy Innovation. *Best Practices for Lighting Retrofits, Picking the Low Hanging Fruit*. Révisé le 29 août 2013. cbei.psu.edu/best-practices-for-lighting-retrofits/ (en anglais seulement).

[16] Collaborative for High Performance Schools. chps.net/dev/Drupal/node/48 (en anglais seulement).

PARTIE 1

Utilisation de la lumière naturelle

L'utilisation de la lumière naturelle est une stratégie particulièrement pertinente pour les écoles. Le personnel et les élèves passent jusqu'à 40 heures par semaine dans les bâtiments des écoles, surtout s'ils participent à des programmes parascolaires. L'exposition directe au grand air et à la lumière du soleil peut avoir un effet positif important sur la santé et la productivité du personnel et des élèves. De nombreuses études ont démontré une étroite corrélation entre l'accès à la lumière naturelle et la performance scolaire et la santé des élèves.

L'éclairage naturel jouit d'un avantage important par rapport à l'éclairage électrique, puisque le contenu spectral de la lumière naturelle produit environ 2,5 fois plus de lumens par unité de charge de refroidissement. Ce rapport peut être amélioré encore plus si la lumière naturelle est introduite par des vitrages à haute performance, dotés d'un revêtement à faible émissivité. Lorsque la lumière naturelle peut produire des niveaux d'éclairage comparables ou supérieurs à ceux de l'éclairage électrique, les lumières électriques peuvent être éteintes. Cela permet non seulement de réduire la consommation d'énergie associée à l'éclairage en soi, mais aussi d'économiser de l'énergie en réduisant de moitié la charge de refroidissement du bâtiment attribuable à l'éclairage. De plus, ces économies ont tendance à coïncider avec les pics d'énergie observables lors des chaudes journées d'été[17].

L'utilisation de l'éclairage naturel ne consiste pas uniquement à ajouter des fenêtres. La lumière qui s'infiltre par une fenêtre en produisant un faisceau direct non contrôlé crée des conditions indésirables qui inciteront à fermer les stores, venant ainsi compromettre la stratégie visant l'exploitation de la lumière naturelle. Dans les salles de classe, les gymnases, les bibliothèques et les bureaux administratifs, il est essentiel que la lumière du soleil soit rebondie, réfléchie ou diffusée afin que la radiation directe n'entre pas dans une partie de la pièce où elle pourrait être problématique.

Confort visuel

L'éclairage naturel et l'éclairage électrique maximiseront le confort visuel dans l'espace s'ils sont conçus et intégrés de façon appropriée. L'éclairage électrique devrait être conçu de façon à répondre aux niveaux recommandés par l'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Des niveaux d'éclairage inappropriés (trop élevés ou trop bas) peuvent causer de la fatigue oculaire et compromettre la qualité du milieu d'apprentissage. De plus, l'infiltration directe de la lumière du soleil devrait être minimisée dans les salles de classe, puisque le rapport de contraste élevé en résultant diminuera le confort visuel.

Un complément d'information sur le confort visuel se trouve au chapitre 2 « Vision: Eye and Brain » et au chapitre 4 « Perception and Performance » du *Lighting Handbook* (IESNA 2000) de l'IESNA.

[17] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 2001. *Advanced Lighting Guidelines.*

PARTIE 1

Pour bien utiliser la lumière naturelle, il faut respecter les trois considérations clés suivantes :

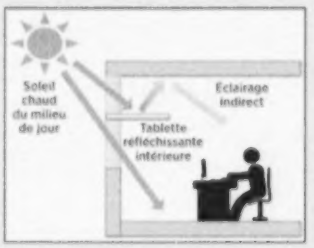
Pénétration de la lumière naturelle

L'amélioration de l'éclairage naturel dans les écoles existantes est un exercice complexe, étant donné que les fenêtres sont des éléments fixes du bâtiment. Pour optimiser l'éclairage naturel des ouvertures de fenêtres existantes, considérez de procéder comme suit :

- **Maximiser la transmittance de la lumière visible (T_{vis}) :** La T_{vis} est une propriété du vitrage qui indique la fraction de la lumière visible transmise par la fenêtre. Si des fenêtres neuves à haute performance sont installées, le choix devra se faire en fonction de l'équilibre entre la portion du gain solaire que vous voulez que les fenêtres bloquent et la quantité de lumière du jour que vous voulez qu'elles transmettent. Bien que théoriquement, la T_{vis} varie entre 0 et 1, la majorité des valeurs qu'on retrouve pour les fenêtres à double et à triple vitrages se situent entre 0,30 and 0,70. Plus la T_{vis} est élevée, plus la quantité de lumière transmise sera élevée. Pour maximiser la lumière naturelle, les valeurs de la T_{vis} devraient se situer entre 0,60 et 0,70.
- **Ajouter des tablettes réfléchissantes :** Bien qu'une seule fenêtre exposée au sud puisse éclairer de 20 à 100 fois son unité de surface, la lumière du soleil directe produit un éblouissement inconfortable pour les occupants (p. ex. sur les surfaces de travail, dans les écrans d'ordinateur). Des tablettes réfléchissantes font dévier la lumière visible vers le plafond, et celle-ci rebondit ensuite vers le bas et éclaire une zone plus étendue. Pour déterminer la configuration la mieux adaptée à votre école, préparez un modèle d'éclairage naturel pour prévoir les niveaux d'éclairage et la distribution attendue.
- **Ajouter des puits de lumière ou des lanterneaux continus :** Les puits de lumière offrent une meilleure qualité d'éclairage et sont une source plus fiable d'économies d'énergie comparativement aux concepts d'éclairage naturel reposant uniquement sur les fenêtres[18]. Un puits de lumière bien conçu offre un éclairage relativement uniforme dans un espace donné. Cependant, certains suggèrent que les écoles devraient éviter les puits de lumière horizontaux en faveur des lanterneaux continus[19]. Un lanterneau continu est une section élevée du toit qui comprend un vitrage vertical, exposé au sud ou au nord, ou aux deux. Les lanterneaux dotés d'un vitrage exposé au sud sont une option privilégiée, parce qu'ils laissent pénétrer la chaleur et la lumière l'hiver et éloignent la chaleur l'été.

Des tablettes réfléchissantes peuvent être installées à l'intérieur ou à l'extérieur de la fenêtre. L'exemple ci-dessous montre une tablette réfléchissante intérieure.

Figure 6. Tablette réfléchissante intérieure



[18] Heschong Mahone Group Inc. 2004. *Modular Skylight Systems: Best Practices for Designing Skylights with Suspended Ceilings.*

[19] asumag.com/daylighting/know-how-skylights (en anglais seulement).

Principaux termes liés à l'éclairage

Indice de rendu des couleurs (IRC) : Mesure de 1 à 100 de la capacité d'une source lumineuse à révéler les couleurs des divers objets correctement en comparaison avec une source de lumière naturelle ou idéale. Un IRC de 100 est idéal.

Efficacité des luminaires : Ratio de lumens émis par un luminaire par rapport aux lumens émis par la ou les lampe(s) installée(s) sur ce luminaire.

Efficacité de l'éclairage : Mesure de la puissance lumineuse de sortie par unité d'alimentation. Elle est exprimée en lumens par watt (lm/W).

Densité de puissance d'éclairage (DPE) : Mesure de la charge d'éclairage connectée par unité de superficie. Elle est exprimée en watts par mètre carré (W/m^2).

Lumen : Unité mesurant la puissance lumineuse totale émise par une source de lumière (lm).

Luminaire : Unité d'éclairage complète (lampe, boîtier, lentilles, ballast, câblage, etc.).

Lux : Unité de mesure de l'éclairage qui équivaut à un lumen par mètre carré (lx). L'unité impériale est le pied-bougie (en anglais, *foot-candle* ou fc), qui équivaut à un lumen par pied carré.

Réflectance des surfaces intérieures

Le rendement de l'éclairage (naturel et électrique) est grandement influencé par la réflectance des surfaces intérieures, par exemple les murs, les plafonds, les planchers et les meubles. Des surfaces intérieures sombres absorbent la lumière, tandis que des surfaces pâles la reflètent, augmentant les niveaux d'éclairage dans l'espace. En ce qui a trait à l'éclairage naturel, une réflectance accrue réduit le contraste entre les ouvertures pour la lumière du jour et les surfaces intérieures, améliorant grandement le confort visuel.

Contrôles de l'éclairage naturel

Les contrôles de l'éclairage se présentent sous deux formes : interrupteurs et gradateurs. Les deux stratégies nécessitent des capteurs pour fournir de la rétroaction aux contrôles.

- Les interrupteurs permettent d'éteindre les lumières lorsqu'une quantité adéquate de lumière naturelle est disponible. Le câblage des circuits d'éclairage existants peut être refait pour obtenir des ballasts à circuits séparés dans chaque luminaire ou des luminaires à circuits séparés.
- Les gradateurs permettent d'apporter des changements graduels au rendement lumineux selon la plage du ballast, permettant ainsi une vaste portée de rendement lumineux.

Réaménagements par remplacement direct en comparaison avec des réaménagements par nouvelle conception

Les réaménagements par remplacement direct nécessitent un travail d'analyse mineur et, comme le terme l'indique, consistent à remplacer directement les sources d'éclairage ou les systèmes de contrôle en place. Par exemple, de nouvelles lampes DEL de 11 W peuvent remplacer des lampes à incandescence halogènes MR16 de 50 W.

Contrairement aux réaménagements par remplacement direct, les réaménagements par nouvelle conception exigent la réalisation d'analyses et d'exercices de conception pour s'assurer que le système d'éclairage et la stratégie de contrôle résultants répondront aux besoins des occupants. La conception d'un système d'éclairage doit tenir compte d'éléments importants, comme les rapports de luminance, l'effet d'éblouissement et la qualité de couleur ainsi que la quantité de lumière. Plus importante encore pour les écoles, la conception de l'éclairage des salles de classe est essentielle pour réussir à créer des environnements d'apprentissage productifs. Le CNÉB devrait aussi être consulté pour s'assurer que les DPE maximales ne sont pas dépassées.

PARTIE 1

Tableau 1. Recommandations en matière d'éclairement dans les écoles

Applications et tâches	Cibles d'éclairement (lux)[20]
Salles de classe générales	500[21]
Studios d'art	500
Ateliers	1 000
Gymnases	500
Bureau d'accueil	400
Salle des enseignants	200
Couloirs (circulation)	50–100[22]
Escaliers	50–100

Source : Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). *The Lighting Handbook*, 10e édition.

Au moment de concevoir les modifications qui seront apportées aux systèmes d'éclairage, les principes suivants s'appliquent :

- Concevoir l'aménagement du système d'éclairage en respectant les principes prescrits par les normes de l'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).
- S'assurer que la DPE est égale ou inférieure à celle prescrite par le CNÉB. Considérez inclure des DPE dans les documents d'appel d'offres.
- Utiliser la source lumineuse la plus efficace pour l'application. Par exemple, les systèmes de lampes fluorescentes à haut rendement comme première source d'éclairage pour la majorité des espaces; les lampes DEL pour remplacer les ampoules incandescentes.
- Utiliser la lumière naturelle dans la mesure du possible, mais éviter la lumière solaire directe, car elle entraîne des problèmes d'éblouissement. Installer des contrôles pour réduire l'utilisation de lumières électriques en réponse à la lumière naturelle.
- Utiliser des contrôles automatiques pour éteindre l'éclairage ou réduire l'intensité, s'il y a lieu.
- Planifier et exécuter le commissioning de tous les systèmes d'éclairage pour vous assurer qu'ils fonctionnent bien et répondent aux besoins. Préparer un calendrier de recommissioning périodique des systèmes.

Les mesures d'éclairage sont présentées dans trois catégories : aires principales, gymnase, et extérieur et stationnement.

Incidence des réaménagements des systèmes d'éclairage intérieur sur le système de CVCA

Les systèmes d'éclairage ne convertissent qu'une fraction de leur rendement électrique en rendement lumineux utile; le reste est en grande partie libéré directement sous forme de chaleur. Toutes les améliorations du système d'éclairage qui réduisent la puissance d'entrée réduisent aussi la quantité de chaleur qui doit être éliminée par le système de climatisation de l'air.

Bien que cela diminue le besoin de climatisation de l'air en été, cela réduit aussi la chaleur disponible issue de l'éclairage durant les mois d'hiver. L'effet précis sur un bâtiment donné peut être déterminé par simulation informatique.

Dans l'ensemble, l'installation d'un système d'éclairage écoénergétique est une mesure très efficace pour diminuer la demande électrique de pointe, réduire la consommation d'énergie et diminuer les coûts des services publics.

[20] Niveaux d'éclairement horizontal recommandés mesurés à 76 cm au-dessus du plancher, où au moins la moitié des observateurs sont âgés de 25 à 65 ans.

[21] Éclairage localisé général pour les tâches de lecture et d'écriture.

[22] Selon le niveau d'activité (degré élevé et surveillance = 100, activité type = 50).

PARTIE 1

Aires principales

La majorité des espaces d'une école type se trouvent dans cette catégorie. Par exemple, ces mesures s'appliquent aux salles de classe, aux salles du personnel, aux bureaux, aux toilettes, aux cafétérias, aux couloirs, aux cages d'escalier et aux aires telles que les locaux des installations mécaniques et les locaux d'entretien. Respectez les normes de l'IESNA et du CNÉB lorsque vous créez un nouveau concept d'éclairage pour ces zones.

Fait à souligner, les besoins d'éclairage des salles de classe ont changé radicalement depuis l'époque où de nombreuses écoles canadiennes ont été conçues. Les enseignants passent maintenant plus de 25 % de leur temps d'enseignement à utiliser des tableaux blancs interactifs et des rétroprojecteurs pour leur prestation de cours.

Pour répondre aux différents modes d'enseignement, l'éclairage doit être flexible, par exemple des lampes fluorescentes T5 ou T8 avec ballasts de gradation en combinaison avec des contrôles de gradation et des interrupteurs activés par l'enseignant[23].

Exemple :
École secondaire catholique Cardinal Carter, Aurora (Ontario)

L'école a réduit sa consommation d'énergie de 19 % en remplaçant ses 3 800 luminaires T12 par des T8 et en utilisant des capteurs de mouvement et des panneaux Sortie au DEL. Les économies de coûts annuelles, qui comprennent les coûts d'entretien plus faibles associés au remplacement des lampes brûlées, la commande et la livraison améliorées des lampes et un meilleur contrôle de l'inventaire, totalisent 27 000 $.

Source : SaveOnEnergy.

Liste des mesures relatives à l'éclairage (aires principales)

- ✓ Remplacer les lampes incandescentes et les lampes fluorescentes compactes d'utilisation fréquente par des lampes DEL
- ✓ Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL
- ✓ Remplacer les interrupteurs muraux installés dans les salles de classes et autres pièces cloisonnées par des capteurs d'occupation ou d'inoccupation
- ✓ Remplacer les anciens luminaires fluorescents T12 et T8 par des sources lumineuses de haute efficacité dotées d'un contrôle d'intensité
- ✓ Installer des sources de lumière naturelle et des contrôles de l'éclairage
- ✓ Utiliser l'éclairage à deux niveaux en fonction de l'occupation dans les couloirs et les cages d'escalier

- **Remplacer les lampes incandescentes et les lampes fluorescentes compactes d'utilisation fréquente par des lampes DEL :** Par exemple, les lampes incandescentes MR16 sont fréquemment utilisées dans les luminaires suspendus et encastrés. Il est possible de réaliser des économies de presque 80 % en remplaçant directement une lampe MR16 de 50 W par une lampe DEL de 11 W qui a un IRC de 92.

[23] Lighting California's Future. 2010. *High Performance Retrofit Classroom Lighting Guide.*

- **Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL :** Les panneaux Sortie peuvent être remplacés complètement ou convertis à l'éclairage DEL au moyen d'une trousse de réaménagement. Les économies sont importantes étant donné que ces panneaux fonctionnent 24 heures par jour, sept jours sur sept.

- **Remplacer les interrupteurs muraux installés dans les salles de classe et autres pièces cloisonnées par des capteurs d'occupation ou d'inoccupation :** Les capteurs d'occupation allument automatiquement les lumières lorsqu'ils détectent des occupants; les capteurs d'inoccupation nécessitent une activation manuelle de l'interrupteur mural pour l'allumage des lumières. Les capteurs d'inoccupation offrent les meilleures économies, puisque les lumières ne s'allumeront jamais automatiquement. Un temps d'arrêt de 15 minutes est typique pour éviter les courts cycles et la diminution de la durée de vie de la lampe. L'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis estime que les économies potentielles d'énergie consacrée à l'éclairage dans des conditions optimales se situent entre 25 % et 75 %, selon le type d'espace[24].

- **Remplacer les anciens luminaires fluorescents T12 et T8 par des sources lumineuses de haute efficacité dotées d'un contrôle d'intensité :** Les vieilles lampes fluorescentes T12 ou T8 peuvent être remplacées par de nouvelles lampes fluorescentes T8 ou T5 et des ballasts électroniques de gradation. Une plus grande efficacité, combinée à un contrôle doté de capteurs d'occupation et d'éclairage naturel, peut permettre de faire d'importantes économies de coûts et d'énergie.

- **Installer des sources de lumière naturelle et des contrôles de l'éclairage :** Une stratégie d'éclairage naturel bien pensée avec contrôles de l'éclairage au moyen de photorécepteurs qui éteignent les luminaires lorsque la quantité de lumière naturelle disponible est adéquate peut permettre de faire d'importantes économies d'énergie, en plus d'économiser sur les coûts d'entretien.

- **Utiliser l'éclairage à deux niveaux en fonction de l'occupation dans les couloirs et les cages d'escalier :** L'éclairage à deux niveaux offre un éclairage intégral lorsque la présence d'occupants est détectée et un éclairage réduit lorsque l'absence d'occupants est détectée. Dans les espaces qui ne sont pas régulièrement occupés, mais qui exigent un certain éclairage lorsqu'ils sont inoccupés, il est possible de réduire la puissance lumineuse dans une mesure pouvant aller jusqu'à 50 % durant les périodes d'inoccupation.

[24] Environmental Protection Agency des États-Unis. *Putting Energy into Profits: ENERGY STAR® Guide for Small Business*. energystar.gov/ia/business/small_business/sb_guidebook/smallbizguide.pdf (en anglais seulement).

PARTIE 1

Gymnase

L'éclairage dans les gymnases est unique en comparaison du reste de l'école, puisqu'ils ont généralement des plafonds plus hauts. Traditionnellement, l'éclairage en hauteur se présentait sous forme de lampes aux halogénures métalliques (HM) à décharge à haute intensité (DHI). Cependant, ces dernières années, l'éclairage à DHI standard a été remplacé par des lampes fluorescentes ou les nouvelles lampes HM à brûleur céramique; plus récemment, les luminaires DEL en hauteur ont aussi fait leur entrée sur le marché.

Liste des mesures relatives à l'éclairage (gymnase)

- ✓ Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL
- ✓ Remplacer l'éclairage à décharge à haute intensité par un éclairage en hauteur à lampe fluorescente ou DEL
- ✓ Installer des sources de lumière naturelle et des contrôles de l'éclairage
- ✓ Installer des capteurs d'occupation

- **Remplacer les panneaux Sortie à éclairage incandescent par des panneaux à éclairage DEL :** Les panneaux Sortie peuvent être remplacés complètement ou convertis à l'éclairage DEL au moyen d'une trousse de réaménagement. Les économies sont importantes, étant donné que ces panneaux fonctionnent 24 heures par jour, sept jours sur sept.

- **Remplacer l'éclairage à décharge à haute intensité par un éclairage en hauteur à lampe fluorescente ou DEL :** Le remplacement de l'éclairage HM au quartz par des lampes T5 à haut rendement lumineux permet de faire des économies de 23 %, tandis que le remplacement par un éclairage en hauteur à lampe DEL peut entrainer des économies de 30 % à 50 %[25].

- **Installer des sources de lumière naturelle et des contrôles de l'éclairage :** Une stratégie d'éclairage naturel bien pensée avec contrôles de l'éclairage au moyen de photorécepteurs qui éteignent les luminaires lorsque la quantité de lumière naturelle disponible est adéquate peut permettre de faire d'importantes économies d'énergie, en plus d'économiser sur les coûts d'entretien.

- **Installer des capteurs d'occupation :** Les gymnases peuvent être dotés de capteurs d'occupation et de contrôles de l'éclairage à niveaux multiples.

[25] L'éclairage en hauteur à lampes DEL a un rendement lumineux plus faible et, de ce fait, peut entrainer l'obligation d'installer plus de luminaires, comparativement à l'éclairage à DHI pour un éclairage équivalent.

PARTIE 1

Extérieur et stationnement

L'éclairage extérieur est conçu pour assurer la sécurité et n'a rien à voir avec les qualités associées au rendu des couleurs ou aux tâches visuelles détaillées. Ainsi, l'éclairage à lampes DEL est bien adapté aux applications d'éclairage extérieur.

La technologie d'éclairage DEL a évolué considérablement, tant dans le domaine des nouvelles conceptions que dans celui des réaménagements. Grâce à l'arrivée récente sur le marché de plusieurs fabricants de systèmes d'éclairage DEL, il est maintenant possible de choisir parmi un vaste éventail d'options de réaménagement, notamment des trousses de réaménagement qui permettent de convertir les luminaires existants pour qu'ils puissent fonctionner avec des lampes DEL.

Liste des mesures relatives à l'éclairage (extérieur/stationnement)

- ✓ Remplacer l'éclairage extérieur et des stationnements par un éclairage à lampes DEL
- ✓ Ajouter des contrôles à photocellules et à minuteries à l'éclairage extérieur

- **Remplacer l'éclairage extérieur et des stationnements par un éclairage à lampes DEL :** Les luminaires DEL offrent des économies supérieures à 40 % par rapport aux lampes à DHI conventionnelles. Les lampes ou les luminaires peuvent être remplacés un pour un, un travail qui exige une analyse de conception minimale.
- **Ajouter des contrôles à photocellules et à minuteries à l'éclairage extérieur :** Au minimum, l'éclairage extérieur devrait être contrôlé par une photocellule pour éteindre les lumières durant les heures d'ensoleillement. Si l'éclairage n'est pas requis pour des raisons de sécurité, l'utilisation des minuteries pour éteindre les lumières après les heures d'ouverture de l'école peut aussi permettre d'économiser argent et énergie. Par exemple, l'éclairage du stationnement peut s'allumer au coucher du soleil et s'éteindre à 22 h; se rallumer au petit matin et s'éteindre à nouveau au lever du soleil. Les minuteries à cadran astrologique offrent un contrôle amélioré, car elles ajustent automatiquement la minuterie aux heures locales des couchers et des levers du soleil pour une efficacité optimale toute l'année.

PARTIE 1

Réduction des charges supplémentaires

Les sources des charges supplémentaires sont des facteurs de contribution secondaires à la consommation d'énergie dans les bâtiments (les occupants, les ordinateurs et l'équipement, le bâtiment en soi, etc.). Ces charges peuvent avoir un effet négatif sur les charges de chauffage, de refroidissement et électriques. Cependant, leur effet peut être contrôlé et réduit au moyen d'une planification stratégique, de l'engagement des occupants et d'améliorations écoénergétiques. Grâce à une analyse rigoureuse de ces sources et de leurs interactions avec les systèmes de CVCA, la taille de l'équipement de chauffage et de refroidissement et les coûts des améliorations peuvent être réduits. Ces améliorations peuvent diminuer directement la perte d'énergie et permettre de faire des économies d'énergie additionnelles sur le système de CVCA.

Les charges supplémentaires peuvent être diminuées en réduisant la consommation d'énergie de l'équipement et en améliorant l'enveloppe du bâtiment afin de lui conférer une résistance thermique accrue.

Charges électriques et équipement

La section qui suit traite des équipements et des appareils utilisés dans le milieu scolaire (ceux qui sont situés dans les salles de classe, les salles du personnel, les bureaux et les cuisines des cafétérias), et des transformateurs de distribution électrique.

Liste des mesures relatives aux charges supplémentaires (charges électriques et équipement)
✓ Éteindre l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé
✓ Installer des contrôles de distributeurs automatiques
✓ Choisir un équipement ENERGY STAR
✓ Éliminer les appareils électriques personnels
✓ Mettre en œuvre un programme de sensibilisation à la consommation d'énergie
✓ Installer des transformateurs à haute efficacité

- **Éteindre l'équipement lorsqu'il n'est pas utilisé :** La première étape pour réaliser des économies d'énergie consiste à éteindre l'équipement et les appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés. En ce qui a trait aux ordinateurs et aux moniteurs, les réglages de gestion de la consommation d'énergie peuvent être effectués de façon à provoquer la fermeture automatique à l'aide d'une de ces approches :
  - Les employés activent les fonctions existantes de la gestion de la consommation sur les ordinateurs des salles de classe et des bureaux et ferment les ordinateurs pour la nuit.
  - Le service de TI de la commission scolaire développe et implante des scripts de connexion qui contrôlent les réglages de la gestion d'énergie.
  - Un logiciel tiers implante une politique de gestion d'énergie d'ordinateur dans le réseau de l'école.
- **Installer des contrôles de distributeurs automatiques :** Les distributeurs automatiques sont un autre exemple d'équipement pouvant être éteint pour économiser l'énergie. Les produits de réaménagement existent qui utilisent des capteurs de mouvement pour éteindre les distributeurs lorsque les espaces sont inoccupés. Ces distributeurs se rallument lorsque les espaces redeviennent occupés et à des intervalles réguliers pour que leur contenu reste froid.
- **Choisir un équipement ENERGY STAR :** Les produits recommandés par ENERGY STAR consomment de 25 % à 50 % moins d'énergie que leurs homologues traditionnels. Les ordinateurs et autres équipements connexes homologués ENERGY STAR permettent d'économiser énergie et argent en entrant en mode « sommeil » ou en s'éteignant lorsqu'ils ne sont pas utilisés, et en fonctionnant plus efficacement lorsqu'ils sont utilisés. En spécifiant les produits écoénergétiques au moment de l'achat, les commissions scolaires peuvent réduire leur consommation d'énergie électrique. La mise en vigueur d'une politique peut être aussi simple que de demander au personnel d'approvisionnement de spécifier des produits homologués ENERGY STAR, par exemple les équipements de bureau, les appareils du service alimentaire et les distributeurs automatiques.
- **Éliminer les appareils électriques personnels :** On trouve désormais dans les écoles un nombre croissant d'appareils personnels énergivores qui ne sont pas homologués ENERGY STAR (cafetières, réfrigérateurs compacts, réchauds, ventilateurs, chaufferettes, équipement audio, périphériques d'ordinateurs, etc.). Bien que chacun de ces appareils ne demande qu'une petite quantité individuelle d'énergie, la demande peut être importante au total. Les écoles peuvent mettre en place des politiques qui découragent les enseignants et les élèves à utiliser ce genre d'appareils ou qui les sensibilisent à propos de leur utilisation judicieuse, par exemple éteindre les appareils ou les débrancher lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

Exemple :
Commission scolaire du district de Vancouver

La commission scolaire a installé un logiciel de gestion d'énergie sur 10 000 ordinateurs de ses écoles. Ce logiciel permet d'économiser 2,5 GWh d'électricité par année, soit plus de 7 % du total de la facture de services publics.

Source : Commission scolaire de district de Vancouver (en anglais seulement)

Pour plus de renseignements sur les produits ENERGY STAR, visitez le site ENERGY STAR au Canada de RNCan : rncan.gc.ca/energie/produits/energystar/12520.

Équipement de cafétéria et de cuisine commerciale

Un vaste éventail d'équipements, de luminaires et d'appareils ménagers contribuent à la consommation d'énergie dans les cafétérias, c'est donc dire qu'il existe aussi un grand nombre de possibilités de réduire cette consommation.

Seulement 35 % de l'énergie consommée dans une cuisine commerciale type sert à la cuisson et à la préparation des aliments; le reste est perdu dans la pièce sous forme de chaleur. En utilisant de l'équipement écoénergétique, il est possible non seulement de réduire la consommation d'énergie, mais aussi d'améliorer le confort et la qualité de l'air. Le remplacement de l'équipement existant par des solutions de rechange à haute efficacité peut vous permettre d'économiser jusqu'à 70 % sur la consommation d'énergie.

Le tableau 2 illustre les économies types associées aux divers équipements de cuisine écoénergétiques et indique si des produits homologués ENERGY STAR sont offerts :

Tableau 2. Équipement de cuisine et économies d'énergie

Catégorie	Équipement	Économies d'énergie types	Économies d'eau types	Homologué ENERGY STAR
Réfrigération	Réfrigérateurs et congélateurs commerciaux	35 %	–	Oui
	Machines à glace commerciales	15 %	10 %	Oui
Sanitation	Lave-vaisselle commerciaux	25 %	25 %	Oui
	Pulvérisateurs de prérinçage	Variable	55–65 %	Non
	Chauffe-eau	5 %	–	Oui
Préparation des aliments	Friteuses commerciales	30–35 %	–	Oui
	Plaques chauffantes commerciales	10 %	–	Oui
	Armoires de conservation chauffées commerciales	65 %	–	Oui
	Fours commerciaux	20 %	–	Oui
	Cuiseurs à vapeur commerciaux	50 %	90 %	Oui

Source : RNCan. 2012. *Guide ENERGY STAR pour les cuisines commerciales.*

La ventilation des cuisines a également une incidence importante sur la consommation d'énergie. La demande d'énergie peut diminuer considérablement si les appareils électroménagers sont de la bonne taille, si la chaleur est récupérée à partir de l'air évacué et si le système de ventilation est doté d'un système de contrôle de la demande. Certains appareils électroménagers possèdent même des solutions intégrées qui réduisent la nécessité d'évacuer l'air. Consultez la section Amélioration des systèmes de distribution de l'air pour plus de renseignements.

PARTIE 1

- **Mettre en œuvre un programme de sensibilisation à la consommation d'énergie :** RNCan a produit le document *Mise en oeuvre d'un programme de sensibilisation à l'efficacité énergétique*[26], qui peut aider les commissions scolaires à élaborer des programmes efficaces de sensibilisation à la consommation d'énergie efficaces à l'intention du personnel enseignant et des élèves. Les *ENERGY STAR Guidelines for Energy Management* (en anglais seulement) sont une autre ressource utile[27]. Ces lignes directrices expliquent comment créer un plan de communication et donnent des idées, des exemples et des modèles personnalisables pour aider à communiquer le message au personnel et aux élèves. BC Hydro et ENERGY STAR offrent aussi du matériel de sensibilisation à la consommation d'énergie à l'intention des élèves ainsi que des trousses de programmes.
  - BC Hydro a collaboré avec des enseignants et des spécialistes en élaboration de programmes afin de développer des ressources qui fournissent de l'information précieuse sur l'efficacité énergétique, les solutions de rechange en matière d'énergie et la conservation. Une gamme complète de programmes ciblant les années spécifiques depuis la maternelle jusqu'à la 12e année est disponible en ligne : bchydro.com/community/youth_education.html (en anglais seulement).
  - ENERGY STAR Kids est un site Web dédié aux élèves et aux enseignants qui présente du matériel interactif en ligne attrayant pour les jeunes et des liens vers des plans de leçons pour les enseignants : energystar.gov/index.cfm?c=kids.kids_index (en anglais seulement).
- **Installer des transformateurs à haute efficacité :** Remplacez les transformateurs existants à la fin de leur vie utile par des transformateurs à haute efficacité. Au cours des dernières années, les normes d'efficacité énergétique applicables aux transformateurs en Amérique du Nord ont évolué rapidement. Par conséquent, les fabricants offrent plus de transformateurs écoénergétiques qui ont moins de pertes que les anciens modèles. La nouvelle norme d'efficacité énergétique de la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) pour les transformateurs, la CSA C802, prescrit 30 % moins de pertes que la norme précédente. La figure 7 montre l'efficacité relative des transformateurs standards en comparaison des transformateurs à haute efficacité de la NEMA.

Exemple :
Commission scolaire de district de Vancouver

Quatre écoles secondaires de la Commission scolaire de district de Vancouver ont vérifié leurs réfrigérateurs pour déterminer leur consommation d'énergie, et ont identifié 43 réfrigérateurs vieux ou inefficaces. Parmi ceux-ci, 23 ont été éliminés de façon permanents et 20 autres ont été remplacés par des nouveaux modèles homologués ENERGY STAR. On estime que les économies annuelles s'élèvent à environ 40 000 kWh (ou environ 4 000 $). Tous les appareils enlevés ont été recyclés.

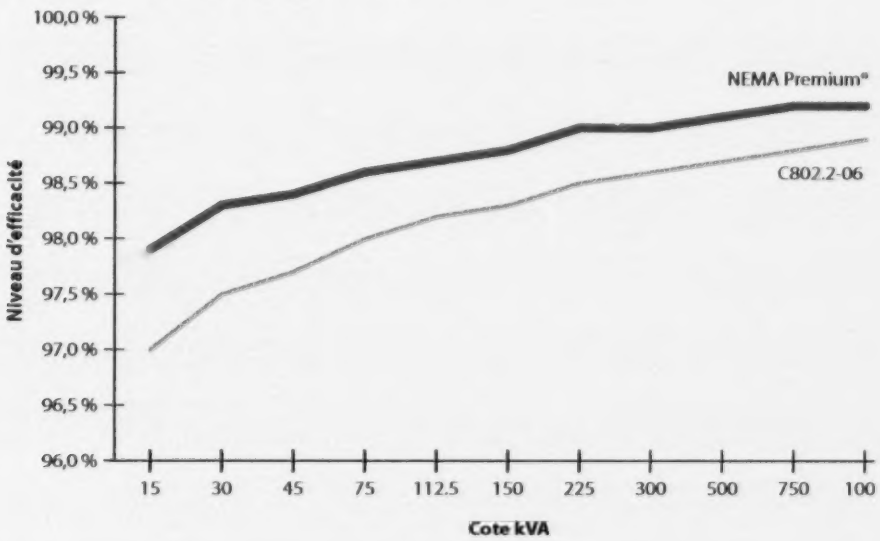
Source : Commission scolaire de district de Vancouver.

[26] publications.gc.ca/collections/collection_2013/rncan-nrcan/M144-244-2012-fra.pdf

[27] energystar.gov/buildings/about-us/how-can-we-help-you/build-energy-program/guidelines (en anglais seulement).

PARTIE 1

Figure 7. Niveaux d'efficacité des appareils standards en comparaison des appareils écoénergétiques de la NEMA



Les avantages découlant du remplacement des transformateurs par des modèles écoénergétiques comprennent la diminution des pertes lors du processus de transformation électrique et la réduction des charges de refroidissement dans les pièces où les transformateurs sont installés.

Le remplacement d'un seul transformateur de 75 kVA (efficacité de 98 %) par un transformateur écoénergétique de la NEMA (efficacité de 98,6 %) permet de réduire les pertes annuelles d'environ 30 %, selon un fonctionnement de 260 jours/année, une charge de 15 % sur 16 heures/jour et une charge de 100 % sur 8 heures/jour[28].

Enveloppe

La section qui suit décrit les options possibles pour améliorer l'enveloppe du bâtiment (toit, murs, fondation, portes et fenêtres). Les paramètres les plus communs ayant une incidence sur le flux thermique traversant l'enveloppe du bâtiment sont la conduction, le rayonnement solaire et l'infiltration. La conduction a trait à la conductivité des matériaux de l'assemblage de l'enveloppe et à leur capacité de conduire un simple flux thermique de chaud à froid ou d'y résister. Le rendement de la résistance au flux thermique est souvent exprimé en valeurs RSI ou en valeurs R (voir l'endcadré). Le rayonnement solaire procure les gains thermiques souhaités au moyen des fenêtres durant la saison de chauffage et les gains de chaleur non souhaités durant la saison de refroidissement. L'infiltration a trait aux fuites d'air par les éléments du bâtiment, par exemple autour des fenêtres,

La valeur RSI (valeur R du Système International) pour l'isolation est une mesure de la résistance thermique d'un matériau.

RSI est calculée en $m^2 \cdot K/W$.

R est calculée en pi.ca.·°F·h/Btu.

Conversion :

RSI = R ÷ 5,678

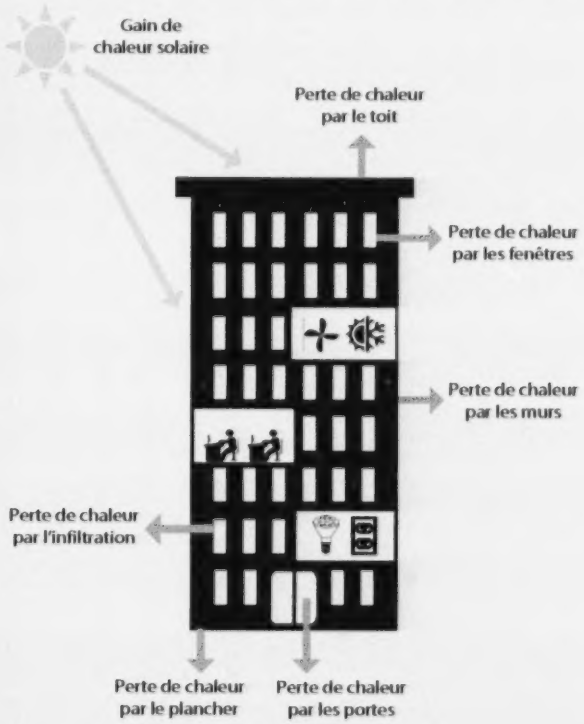
R = RSI × 5,678

1 RSI = R-5,678

[28] Calculateur d'économies d'énergie de Hammond Power Solutions, hpstoolbox.com/ (en anglais seulement).

des portes, des intersections de l'enveloppe, des points de pénétration physique et des ouvertures mécaniques. La figure 8 montre comment la chaleur entre dans un bâtiment et en sort par l'enveloppe.

Figure 8. Transfert thermique par l'enveloppe du bâtiment



La conduction est largement prise en compte par la quantité et la qualité des matériaux isolants et la réduction des ponts thermiques. Le rayonnement solaire est contrôlé par le coefficient de gain de chaleur solaire des fenêtres ou des éléments tels que les stores, les avant-toits et les auvents. L'infiltration est prise en compte par les pare-air et la qualité de l'étanchéité autour des ouvertures de l'enveloppe, et la qualité des coupe-froid pour les ouvertures mobiles (portes et fenêtres, registres de sortie et d'entrée lorsque fermés).

Liste des mesures relatives aux charges supplémentaires (enveloppe)

- ✓ Réduire l'infiltration
- ✓ Ajouter un pare-air
- ✓ Ajouter des matériaux isolants
- ✓ Améliorer les portes et fenêtres

Le remplacement des fenêtres et des joints d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment a fait partie des nombreux réaménagements effectués à toutes les écoles de la commission scolaire **Saskatoon Public Schools**, la plus grande en Saskatchewan.

Les économies totales associées à ces réaménagements sur une période de 10 ans sont de l'ordre de 13 millions de dollars. Les projets ont aussi permis de réduire les retards des calendriers d'entretien de plus de 2,3 millions de dollars grâce aux nombreuses améliorations apportées à l'infrastructure.

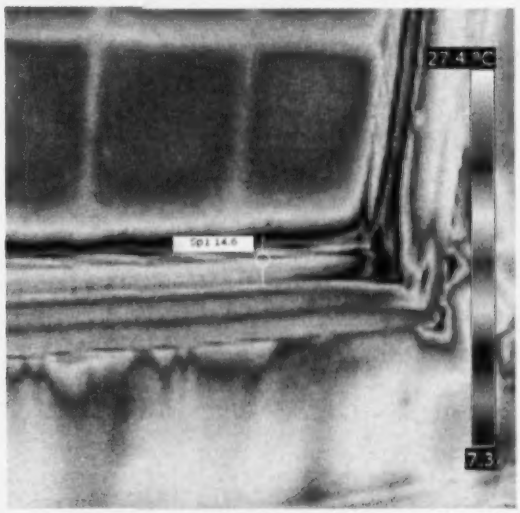
1 PARTIE

- **Réduire l'infiltration :** L'infiltration, ou les fuites d'air, est le flux d'air incontrôlé qui traverse l'enveloppe (que ce soit l'air extérieur qui entre ou l'air conditionné qui sort). Les concepteurs savent que le problème existe, mais la plupart d'entre eux l'ignorent ou en tiennent compte lors de la conception des systèmes de chauffage et de refroidissement. Il a été démontré que les répercussions de nature énergétique d'une infiltration inattendue sur la consommation d'énergie d'un bâtiment sont importantes. Puisque l'équipement de CVCA et les autres systèmes du bâtiment deviennent de plus en plus écoénergétiques, la perte d'énergie associée aux fuites par l'enveloppe du bâtiment représente un pourcentage encore plus grand de la consommation d'énergie totale du bâtiment.

  L'infiltration peut aussi être aggravée par un bâtiment pressurisé positivement ou négativement. On peut s'apercevoir des effets de la pressurisation d'un bâtiment lorsqu'on ouvre une porte : un flux d'air distinct sera ressenti soit en entrant dans le bâtiment, soit en en sortant. La pression d'un bâtiment devrait être neutre ou très légèrement positive. Cette condition peut se vérifier par la mesure des flux d'air d'alimentation et d'air évacué à l'aide d'un balancement d'air. Les déséquilibres peuvent être corrigés en tenant compte des écarts entre les flux d'air d'alimentation et d'air évacué.

  Certains signes d'infiltration sont évidents, tels que la lumière de l'extérieur observable autour d'une porte fermée; pour déterminer les autres signes, il faudra peut-être utiliser l'imagerie thermique, qui permet de visualiser les écarts de température. La figure 9 montre comment l'imagerie infrarouge peut aider à détecter les problèmes d'infiltration ou de faiblesse thermique de l'enveloppe (observez la température de surface basse associée à certaines parties de la fenêtre, du cadre de fenêtre et la structure de l'encadrement autour et en-dessous de la fenêtre).

Figure 9. Imagerie infrarouge montrant une fuite autour de l' ouverture d'une fenêtre



Les poires à fumée sont un autre outil utilisé pour détecter les zones de fuite. Lorsque la poire est tenue près d'une fuite possible, le mouvement de la fumée indiquera s'il y a réellement une fuite ou non. Le bâtiment doit être pressurisé afin que cet outil de détection soit efficace.

L'infiltration peut être aggravée par l'effet de cheminée, qui est causé par de l'air chaud qui monte dans le bâtiment et qui s'échappe par les ouvertures situées sur le dessus de celui-ci. L'air chaud qui monte crée une pression négative à la base du bâtiment, tirant l'air extérieur dans les ouvertures et les zones de fuite. L'effet de cheminée s'inverse durant la saison de refroidissement, mais l'incidence est minimale en comparaison de la saison de chauffage. La portée de l'effet de cheminée est déterminée par la hauteur du bâtiment, la vitesse du vent et la qualité de l'étanchéité près du sommet du bâtiment. Puisque les écoles n'ont généralement pas plus de trois étages, l'effet de cheminée est généralement moins important comparativement à d'autres sous-secteurs. Quand même, les gaines d'ascenseur et les cages d'escalier constituent un chemin à faible résistance pour l'air montant, il est donc impératif que les zones de pénétration telles que les trappes de toit et les portes d'accès au toit soient bien étanchées.

La réparation des infiltrations est habituellement une mesure à faible coût, qui nécessite souvent l'ajout ou le remplacement de coupe-froid ou du calfeutrage. L'infiltration d'air peut provoquer de la condensation et l'accumulation de l'humidité et peut aussi être une indication que de l'eau s'infiltre dans l'enveloppe du bâtiment. Ces deux problèmes peuvent entraîner la formation de moisissures et, dans certains cas, des dommages structuraux aux composants de l'enveloppe. Ce risque additionnel accroît l'importance de corriger ces défectuosités. Un professionnel en science du bâtiment (ingénieur ou architecte) devrait être embauché pour faire les diagnostics à propos de l'enveloppe, qui sont nécessaires pour réparer correctement toutes les infiltrations d'air et d'eau, quelle que soit leur source.

- **Ajouter un pare-air :** Bien qu'elle soit moins évidente que les sources d'infiltration mentionnées ci-dessus, la présence d'un pare-air entourant l'enveloppe du bâtiment est essentielle à une étanchéité adéquate. Un système de pare-air efficace fournit une protection contre les fuites d'air et la diffusion d'air attribuable au vent, à l'effet de cheminée et aux écarts de pression causés par l'introduction mécanique d'air dans le bâtiment ou l'enlèvement mécanique d'air du bâtiment. Les bâtiments dotés d'un système de pare-air bien installé peuvent fonctionner efficacement avec un plus petit système de CVCA, parce que le système mécanique n'a pas à compenser les fuites. Dans certains cas, la réduction de la taille de l'équipement mécanique et la diminution de son coût peuvent compenser le coût d'un système de pare-air. Les bâtiments qui n'ont pas de pare-air — ou qui en ont, mais qui sont inefficaces — courent le risque de voir la durée de vie utile de leur enveloppe diminuer, ce qui nuit au confort des occupants et augmente les coûts d'énergie.

PARTIE 1

Dans la perspective du cycle de vie, le **meilleur moment pour augmenter les niveaux d'isolation du toit** est lors de son remplacement. En procédant ainsi, on a l'avantage d'intégrer le coût d'investissement dans le plan de gestion des actifs du bâtiment et d'isoler le coût différentiel de l'isolation additionnelle pour l'analyse des coûts-avantages des réaménagements énergétiques.

CNÉB de 2011 – Valeurs RSI minimales pour les murs et le toit pour les zones climatiques 5, 6 et 7 :

Zone 5
(p. ex. Vancouver, Toronto)
Murs 3,597 m^2·K/W (R-20)
Toit 5,464 m^2·K/W (R-31)

Zone 6
(p. ex. Ottawa, Montréal)
Murs 4,049 m^2·K/W (R-23)
Toit 5,464 m^2·K/W (R-31)

Zone 7A
(p. ex. Edmonton)
Murs 4,762 m^2·K/W (R-27)
Toit 6,173 m^2·K/W (R-35)

Les pare-air peuvent être installés à l'extérieur d'un bâtiment à l'aide de plusieurs approches. Les matériaux pour pare-air et pare-eau combinés font partie des approches les plus communes. Les habillages de bâtiment appliqués mécaniquement, les membranes autoadhérentes et les membranes appliquées à l'aide de fluide peuvent aussi être utilisés comme pare-air et pare-eau pour les murs extérieurs.

Les membranes appliquées à l'aide de fluide sont souvent l'approche privilégiée pour les pare-air, en raison de leurs détails simples et de leur relative facilité d'installation en comparaison de l'installation de matériaux en feuilles. Les membranes appliquées à l'aide de fluide pour les pare-air et les pare-eau sont utilisées depuis longtemps dans les systèmes d'isolation des façades avec enduit (SIFE) et deviennent de plus en plus communes avec d'autres types de gaines extérieures.

L'isolation et l'ajout d'un pare-air ou l'amélioration de sa continuité ont une incidence beaucoup plus grande sur les économies d'énergie que le simple ajout d'un élément d'isolation. Par exemple, la modélisation énergétique concernant un bâtiment de 5 000 m^2 situé à Toronto affichant un taux d'infiltration de référence de 7,9 l/s/m^2 (1,55 pi. cu./min/pi. ca.) rénové avec une couche isolante de 50 mm (2 po) sans aucune amélioration apportée au pare-air a donné une amélioration écoénergétique de seulement 2 %. En comparaison, en ajoutant la même couche isolante et en réduisant le taux d'infiltration à 2,0 l/s/m^2 (0,4 pi. cu./min/pi. ca.), on a obtenu une amélioration écoénergétique de 12,6 %[29].

- **Ajouter des matériaux isolants :**

Isolation du toit

Étant donné que le toit d'une école peut être une source majeure de perte et de gain de chaleur, la meilleure façon de réduire le transfert de chaleur par le toit est d'ajouter des matériaux isolants. L'ajout de matériaux isolants peut s'effectuer sans déranger les occupants du bâtiment et constitue une option qui devrait être examinée lorsque le cycle de vie suggère un remplacement du toit. Une analyse énergétique peut démontrer que les économies d'énergie sont assez importantes pour justifier le remplacement prématuré du toit afin d'ajouter des matériaux isolants.

[29] Répercussions évaluées à l'aide d'un modèle énergétique interne d'Arborus Consulting.

Isolation des murs

On peut ajouter des matériaux isolants dans les cavités murales ou à l'enveloppe extérieure d'un bâtiment. L'ajout de matériaux isolants à l'enveloppe extérieure est la méthode la plus commune, étant donné la complexité et la nature interruptive de l'isolation par l'intérieur. De plus, une couche d'isolation continue à l'extérieur de l'ossature des murs comporte un rendement supérieur par rapport à une couche d'isolation non continue dans les cavités murales. L'ajout de matériaux isolants aux murs est souvent combiné au remplacement des fenêtres, étant donné que les baies de fenêtres ont parfois besoin d'être « délogées » pour convenir à l'augmentation de la profondeur de l'assemblage mural.

- **Améliorer les portes et fenêtres :**

Fenêtres

Les fenêtres ont une incidence sur les coûts d'exploitation d'un bâtiment et sur la santé, la productivité et le bien-être des occupants. Non seulement elles ont une influence dominante sur l'apparence et l'environnement intérieur d'un bâtiment, mais elles peuvent aussi constituer un des composants les plus importants à avoir une incidence sur la consommation d'énergie et la demande d'électricité de pointe.

Les gains et les pertes de chaleur par les fenêtres peuvent représenter une portion importante des charges de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment. L'utilisation de la lumière naturelle peut réduire les charges d'éclairage électrique et améliorer l'environnement intérieur. Par conséquent, au moment de donner les spécifications ayant trait au remplacement des fenêtres, la qualité de la lumière introduite dans les bâtiments ainsi que le rendement thermique doivent être considérées.

Le taux de perte de chaleur par une fenêtre est exprimé en facteur U. Plus le facteur U est bas, plus la résistance de la fenêtre (valeur RSI) au flux thermique est élevée, et meilleures sont ses propriétés isolantes.

Parmi tous les composants d'une enveloppe de bâtiment, ce sont les fenêtres qui ont le plus faible rendement thermique. Même les meilleures fenêtres possèdent des valeurs RSI inférieures aux pires murs et aux pires toits. En outre, les fenêtres représentent une source commune de fuite d'air, ce qui fait qu'elles sont la plus importante source de perte et de gain de chaleur non souhaités dans les bâtiments.

Option du toit blanc : Un « toit blanc » fait dériver la chaleur solaire loin du toit, plutôt que la transférer à la masse du bâtiment. Les toits blancs augmentent le confort des occupants en gardant le bâtiment plus frais durant l'été; par conséquent, les besoins de climatisation de l'air sont diminués, ce qui permet d'économiser sur les coûts énergétiques associés à la climatisation de l'air. De plus, un toit blanc réfléchissant reçoit une charge solaire moins grande sur la membrane, ce qui pourrait augmenter sa durée de vie utile.

Cependant, sous un climat dominé par le chauffage, le pendant des économies d'énergie associées à la climatisation de l'air est la perte de gains de chaleur bénéfiques durant la saison de chauffage. Les résultats dépendent généralement du site, en fonction de facteurs tels que l'inclinaison du toit et la charge de neige.

Pour en savoir plus sur les toits blancs, consultez coolroofs.org (en anglais seulement).

PARTIE 1

Choix de fenêtres

Dans toutes les zones climatiques du Canada, les besoins sont dominés par le chauffage plutôt que le refroidissement. Ainsi, vos fenêtres devraient être choisies en fonction des critères suivants :

- **Minimiser la perte de chaleur** en choisissant la valeur U la plus faible (valeur RSI la plus élevée) pour l'assemblage entier.
- **Minimiser l'émissivité des fenêtres** en choisissant des fenêtres à faible émissivité afin de minimiser le rayonnement thermique.
- **Contrôler les gains de chaleur solaire** – Le coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS) peut différer selon l'orientation afin de permettre des gains solaires bénéfiques d'un côté (p. ex. mur orienté au sud avec un CGCS de 0,6), tout en limitant les gains solaires des autres côtés (p. ex. murs orientés à l'est et à l'ouest avec un CGCS de 0,25) pour assurer le confort des occupants au début et à la fin de la journée.
- **Maximiser la transmittance de la lumière visible** (T_{VIS}) de l'éclairage naturel[30].

L'encadré à la page 35 présente une discussion plus détaillée sur chacun de ces critères, ainsi que sur les divers assemblages et composants.

Portes

Les portes peuvent être considérées de la même façon que les fenêtres mobiles, en ce sens qu'elles se composent typiquement de sections opaques isolantes et d'unités de vitrage isolant (UVI) et qu'il y a souvent des zones importantes de fuite d'air entre les éléments fixes et les éléments mobiles. Les portes modernes possèdent des propriétés thermiques supérieures et sont dotées de meilleurs coupe-froid.

Conformément à la voie prescriptive du CNÉB, les bâtiments neufs doivent être conçus avec des vestibules et des dispositifs de fermeture automatique pour toutes les portes d'entrée ordinaires. Étant donné que les avantages liés aux économies d'énergie et au confort s'appliquent aux bâtiments existants, des vestibules devraient être ajoutés lorsque c'est faisable.

[30] Le CGCS influencera la T_{VIS} résultante; plus le CGCS est faible, plus la T_{VIS} sera basse. Autrement dit, un ombrage accru pour éviter les gains de chaleur diminue la T_{VIS}.

Fenêtres : Perte de chaleur

Le facteur U d'une fenêtre peut servir de référence pour l'assemblage entier de la fenêtre ou seulement pour l'unité de vitrage isolant (UVI). La méthode d'évaluation reconnue à l'échelle nationale par le National Fenestration Rating Council (NFRC) s'applique à la fenêtre entière, y compris le vitrage, le cadre et les intercalaires. Même si le facteur U du centre du vitrage sert aussi parfois de référence, il ne décrit que le rendement du vitrage sans les effets du cadre. Les facteurs U de l'assemblage sont plus élevés que ceux du centre du vitrage en raison de la transmission à la bordure du vitrage et des propriétés isolantes limitées du cadre. Les fenêtres à double vitrage haute performance peuvent avoir des facteurs U de 1,7 $W/m^2 \cdot K$ (0,30 Btu/h pi. ca.·°F) ou inférieurs, tandis que les fenêtres à triple vitrage peuvent avoir des facteurs U aussi bas que 0,85 $W/m^2 \cdot K$ (0,15 Btu/h pi. ca.·°F).

Fenêtres – Assemblage

Les fenêtres comprennent deux principaux composants : l'UVI et le cadre.

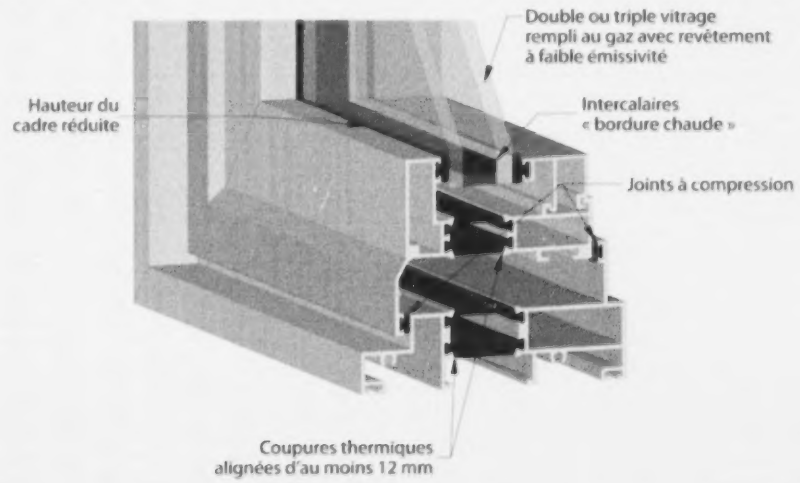
Le rendement de l'UVI est déterminé par :

- le nombre de vitrages (double ou triple)
- la qualité des intercalaires entre les vitrages
- le type de revêtement (p. ex. faible émissivité)
- le type de gaz dans l'UVI scellée
- la profondeur de l'espacement entre les vitrages

Le rendement du cadre est déterminé par :

- le matériau du cadre (conducteur ou non)
- la conductivité thermique de l'intercalaire (rupture thermique ou non).

Figure 10. Caractéristiques d'une fenêtre écoénergétique



Fenêtres – Intercalaires isolants

En ce qui a trait aux UVI, elles utilisent généralement des intercalaires métalliques. Ils sont typiquement faits d'aluminium, un matériau peu isolant, et les intercalaires utilisés dans les systèmes de bordure standards représentent un pont thermique important ou un « court-circuit » à la bordure de l'UVI. Cela réduit les avantages des vitrages améliorés. Les intercalaires de bordure chaude, faits de matériau isolant, sont un élément important des fenêtres écoénergétiques.

Fenêtres – Cadres

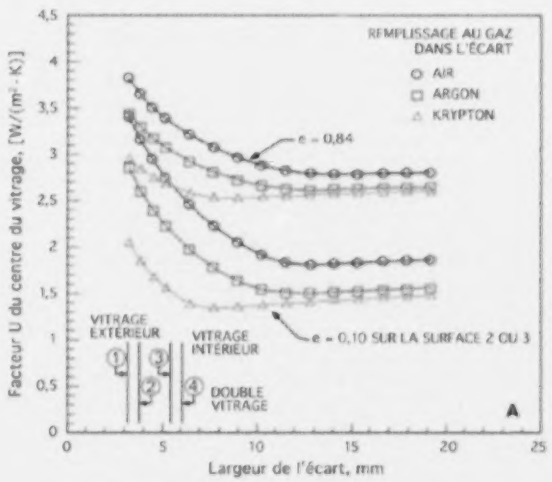
Le facteur U d'une fenêtre incorpore les propriétés thermiques du cadre et du vitrage. Étant donné que le châssis et le cadre représentent environ 10 % à 30 % de la surface totale d'un assemblage de fenêtre, les propriétés du cadre influencent de façon importante le rendement général de la fenêtre.

Au minimum, les cadres doivent être à rupture thermique pour un climat froid. Le facteur U global d'un cadre d'aluminium est amélioré de presque 50 % lorsqu'il est à rupture thermique. Les cadres non métalliques, par exemple en bois, en vinyle ou en fibre de verre, peuvent améliorer le facteur U de 70 % en raison des propriétés non conductrices du matériau et de l'option d'injecter du matériau isolant dans les cavités du cadre.

Fenêtres – Gaz de remplissage

Les fabricants utilisent généralement des gaz de remplissage à l'argon ou au krypton, qui offrent une amélioration mesurable du rendement thermique de l'UVI. Ces deux gaz sont inertes, non toxiques, transparents et inodores. Le krypton a un meilleure rendement thermique que l'argon, mais est plus dispendieux. La figure 11 illustre le rendement relatif des gaz de remplissage à l'air, à l'argon et au krypton.

Figure 11. Rendement thermique des gaz de remplissage



Source : © *ASHRAE Handbook – Fundamentals*. 2013. ashrae.org (en anglais seulement)

Fenêtres – Revêtements

Les revêtements de fenêtres peuvent avoir une incidence importante sur les charges de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment. Le rendement de ces revêtements est généralement exprimé à l'aide de deux paramètres associés : l'émissivité et le coefficient de gain de chaleur solaire.

> **L'émissivité** est la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie. Tous les matériaux, y compris ceux des fenêtres, émettent (ou rayonnent) de la chaleur. La réduction de l'émissivité d'une fenêtre peut améliorer considérablement ses propriétés isolantes.

Le verre transparent standard possède une émittance de 0,84, ce qui signifie qu'il émet 84 % de l'énergie possible et en reflète seulement 16 %. En comparaison, les revêtements en verre à faible émissivité peuvent avoir une émittance aussi basse que 0,04, émettant seulement 4 % de l'énergie et reflétant 96 % du rayonnement infrarouge à ondes longues. Une faible émittance réduit les pertes de chaleur l'hiver en reflétant la chaleur pour qu'elle retourne dans le bâtiment et réduit les charges de refroidissement l'été en reflétant la chaleur radiante loin du bâtiment.

> **Le coefficient de gain de chaleur solaire** (CGCS) est un rapport indiquant la quantité de chaleur solaire pouvant passer à travers le produit (gain d'énergie solaire). Plus le nombre est élevé, plus le gain d'énergie solaire est important. Le CGCS est un nombre situé entre 0 et 1. Les produits ayant un CGCS de moins de 0,30 sont considérés comme ayant un faible gain d'énergie solaire, tandis que ceux ayant un CGCS au-dessus de ce seuil sont considérés comme ayant un gain d'énergie solaire élevé.

Sous un climat dominé par le chauffage, les fenêtres ayant un faible CGCS mèneront à une baisse de charges en refroidissement, mais une hausse en besoins de chauffage en raison de la perte de gains de chaleur souhaités l'hiver. Dans certains cas, le CGCS peut varier en fonction de l'orientation du bâtiment. Par exemple, sur la façade ouest d'un bâtiment, le CGCS serait conçu pour être plus faible que sur la façade sud en raison de l'angle bas du soleil et de la charge solaire plus élevée en après-midi et le soir durant les mois d'été. Cela aura une incidence importante sur le confort des occupants travaillants sur la façade ouest. Enfin, le CGCS influencera la transmittance de la lumière visible (T_{VIS}) résultante; plus le CGCS est faible, plus la T_{VIS} sera basse. Autrement dit, un ombrage accru pour éviter les gains de chaleur diminue la T_{VIS} et la possibilité d'éclairage naturel qui en résulte.

Fenêtres – Technologies de pointe émergentes

Des technologies de vitrage émergentes sont désormais offertes, ou le seront sous peu. Les vitrages isolés sous vide améliorent le transfert thermique en abaissant les facteurs U. Les vitrages adaptables, comme ceux dotés de technologies électrochromiques, modifient les propriétés dynamiques pour contrôler les gains de chaleur solaire, la lumière naturelle, l'éblouissement et la vue. Les capteurs solaires à piles photovoltaïques intégrées faisant appel aux systèmes de fenestration qui génèrent de l'énergie peuvent aussi faire partie de l'enveloppe du bâtiment.

> **Recommandation :** Pour déterminer quelles spécifications de fenêtres permettront de faire les meilleures économies d'énergie et procureront le meilleur confort aux occupants, il est recommandé de développer un modèle énergétique à l'échelle du bâtiment. Une fois que la géométrie du bâtiment, les propriétés thermiques et la configuration du système sont entrées dans le modèle, des spécifications de fenêtres différentes peuvent ensuite être mises à l'essai. Vous pouvez communiquer avec un spécialiste de la modélisation énergétique qui vous aidera à effectuer cette analyse.

PARTIE 1

Certaines vieilles écoles ont été conçues pour être ventilées naturellement, alors selon l'âge de l'installation, l'équipement de distribution de l'air peut ne pas exister.

Amélioration des systèmes de distribution de l'air

Le système de CVCA gère la température, l'humidité, la qualité et le mouvement de l'air dans les bâtiments, ce qui en fait un système critique pour le confort, la santé et la productivité des occupants.

Cinq principaux types d'équipements distribuent l'air dans les écoles :

1) L'équipement central de fournaise ou de ventilo-convecteur, qui consiste soit en systèmes intégrés spécialisés, soit en fournaises (petites écoles). L'air est conditionné à l'aide de serpentins d'eau chaude et d'eau refroidie ou d'échangeurs de chaleur à chauffage direct avec serpentins de refroidissement à évaporateur à détente directe.
2) Centrales de traitement de l'air (CTA) avec ventilo-convecteurs à distribution de zone.
3) CTA avec thermopompes à distribution de zone.
4) Unités de toit avec chauffage et parfois climatisation.
5) Ventilateurs verticaux ou horizontaux installés dans chaque salle de classe, qui conditionnent l'air à l'aide de serpentins d'eau chaude et, si l'école est dans une zone de climatisation, à l'aide de serpentins d'eau refroidie ou de serpentins de refroidissement à évaporateur à détente directe.

Systèmes à débit d'air constant par rapport aux systèmes à débit d'air variable

Les systèmes de traitement de l'air peuvent être soit à débit d'air constant, soit à débit d'air variable.

Systèmes à débit d'air constant

Les systèmes à débit d'air constant (DAC) sont le type le plus simple de système de distribution de l'air et sont communs dans les écoles existantes. Lorsque le ventilateur d'alimentation est en marche, un flux d'air constant est soufflé. Il n'y a aucune modulation de la puissance du ventilateur ou de la décharge ni par le registre de distribution au ventilateur ni aux extrémités des gaines. Les systèmes à DAC conviennent pour conditionner un seul espace (appelé aussi une zone), mais sont moins efficaces pour conditionner plusieurs espaces ou zones d'occupation.

Systèmes à débit d'air variable

Les systèmes à débit d'air variable (DAV) permettent de faire des économies d'énergie substantielles comparativement aux systèmes à DAC et sont bien adaptés aux écoles. Dans un système à DAV, le réseau de gaines de la CTA distribue l'air à des boîtes de mélange dans de multiples zones dans tout le bâtiment. Le flux d'air est modulé dans ces boîtes soit par l'ouverture ou la fermeture de registres, soit par les ventilateurs à l'intérieur de la boîte. Les systèmes à DAV modernes peuvent répondre aux exigences associées aux charges changeantes en modulant la

quantité d'air chauffé ou refroidi qui circule dans l'espace conditionné, de façon à répondre aux charges variées. Combinée avec les entraînements à vitesse variable (EVV), cette réduction du flux permet de diminuer la puissance nécessaire du ventilateur, ce qui fait économiser l'énergie.

La conversion d'un système à DAC en système à DAV est une option rentable pour de nombreuses commissions scolaires, puisqu'elle permet au système de ralentir par lui-même en réponse à la demande changeante.

Confort et qualité de l'air

L'éventail type de températures dans les écoles se situe entre 20 et 26 °C (22 °C plus ou moins 2 °C l'hiver; 24 °C plus ou moins 2 °C l'été). L'option la moins chère pour réduire la consommation d'énergie du système de CVCA est d'accroître les éventails acceptables pour la température et l'humidité intérieures, c'est-à-dire de diminuer la valeur seuil de température durant les mois d'hiver. En étudiant attentivement les besoins de confort thermique des occupants d'une salle de classe type, vous pouvez déterminer l'éventail acceptable de températures et d'humidité. Ces éventails de confort sont cités dans la norme ASHRAE 55[31].

Exemple d'éventail de confort prescrit par la norme ASHRAE 55

Les éventails de températures et d'humidité acceptables dépendent des niveaux d'activité et des vêtements. Il existe deux éventails de confort applicables à un environnement de salle de classe où les occupants ont habituellement des niveaux d'activité métabolique bas. Le premier équivaut à 1,0 clo (« clo » est une mesure de l'isolation des vêtements; 1,0 représente un pantalon épais, une chemise à manches longues et un chandail ou l'équivalent); le second équivaut à 0,5 (p. ex. jupe et blouse légère ou pantalon léger et chemise à manches courtes).

Par exemple, à 50 % d'humidité relative et à 1,0 clo, l'éventail de températures confortable se situe entre 20 et 25 °C. À 0,5 clo, l'éventail de températures confortable se situe entre 24 et 27 °C.

Vous devriez aussi considérer la qualité de l'air intérieur et la quantité d'air de ventilation requise par les occupants du bâtiment dans chaque type d'espace. Le conditionnement de l'air extérieur est une des tâches les plus énergivores qu'effectue le système de CVCA, alors votre première étape devrait consister à minimiser la quantité d'air extérieur devant être conditionné. Calculez la quantité d'air d'évacuation et de ventilation requise en fonction de la norme ASHRAE 62.1[32] à l'aide des taux d'occupation réels, plutôt que les taux d'occupation par défaut

[31] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55 (en anglais seulement).

[32] *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2 (en anglais seulement).

PARTIE 1

précisés dans la norme. Appliquez ensuite le contrôle selon la demande en utilisant le CO_2 comme indicateur de l'occupation réelle. Le CO_2 peut être calculé au conduit de retour de l'unité de toit à l'aide du système de contrôle qui fournit un signal de réinitialisation au registre d'air extérieur pour s'ouvrir et se fermer en fonction de la quantité de CO_2 dans l'espace.

Réaménagements

L'approche recommandée est de commencer par l'évaluation des possibilités dans la zone (espace conditionné) et de remonter par la suite vers la centrale de traitement de l'air (CTA). Par exemple, dans un système à DAV, la réparation ou le remplacement des contrôles des registres de zone se traduira par un confort accru des occupants, d'une part, et par la diminution de la quantité d'air conditionné sollicitée auprès de la CTA, d'autre part.

Au cours des dernières décennies, la conception des systèmes de CVCA des écoles a subi d'importantes modifications. Bon nombre de nouveaux systèmes sont conçus de façon à offrir une fonction à DAV, une efficacité accrue du système de renouvellement et de distribution de l'air et des contrôles supérieurs. Les systèmes dédiés à l'air extérieur sont aussi de plus en plus adoptés dans la conception de bâtiments plus avancée en tant que stratégie pour réduire le conditionnement nécessaire de l'air extérieur. L'optimisation du système de distribution de l'air permet non seulement de faire des économies d'énergie et de maintenir ou d'améliorer la qualité de l'air intérieur, mais peut aussi permettre de faire encore plus d'économies en réduisant la capacité de l'équipement de chauffage et de refroidissement requis.

Les systèmes de traitement de l'air comportent de nombreux composants qui ont une incidence sur leur fonctionnement et leur rendement. Les améliorations au système de distribution de l'air peuvent être classées dans quatre catégories :

- Ajustement des taux de renouvellement de l'air pour être conforme aux exigences du Code ou répondre aux besoins des occupants
- Mise en place des commandes qui produisent des économies d'énergie
- Recours au refroidissement naturel, lorsque c'est possible
- Optimisation de l'efficacité des composants du système de distribution de l'air

PARTIE 1

Liste des mesures relatives aux systèmes de distribution de l'air

- ✓ Commencer par les mesures de premier ordre
- ✓ Installer un système de ventilation selon la demande
- ✓ Remplacer les systèmes à débit d'air constant par des systèmes à débit variable dans les installations à zones multiples
- ✓ Redimensionner les ventilateurs
- ✓ Installer des entraînements à vitesse variable
- ✓ Remplacer les filtres à air existants par des épurateurs d'air électroniques
- ✓ Installer un système de récupération de chaleur sur les flux d'air évacué
- ✓ Installer des dispositifs de chauffage solaire de l'air dans les systèmes d'air d'appoint
- ✓ Installer un système à débit de réfrigérant variable
- ✓ Remplacer le système de distribution d'air mélangé par un système dédié à l'air extérieur
- ✓ Remplacer le système de ventilation mixte par un système de ventilation par déplacement d'air
- ✓ Installer des ventilateurs de grande volume et basse vitesse dans les gymnases
- ✓ Installer des diffuseurs d'air à jets rotatifs à haute induction dans les gymnases
- ✓ Réaménager les systèmes d'évacuation d'air des ateliers

- **Commencer par les mesures de premier ordre :** Les mesures de premier ordre visent à réduire la charge à l'échelle de la zone en vue de diminuer les exigences à l'endroit des systèmes de traitement de l'air et des systèmes connexes de chauffage et de refroidissement. L'optimisation des conditions et du rendement de l'espace à l'échelle de la zone permet d'équilibrer les besoins des occupants et la nécessité de minimiser l'énergie nécessaire pour offrir des conditions confortables. Un programme de commissioning de bâtiment existant (CxBE) est souvent la première étape de ce processus d'optimisation.

  La phase d'évaluation d'un programme de CxBE nécessite la collecte des conditions de configuration et de fonctionnement des systèmes de traitement de l'air d'un bâtiment. Les réglages des thermostats, les calendriers opérationnels et le fonctionnement des registres sont des exemples d'éléments qui seraient confirmés et documentés dans le rapport de commissioning initial, accompagnés de toutes les déficiences nécessitant des correctifs durant la phase de mise en œuvre.

  Consultez la phase Commissioning des bâtiments existants pour connaître la liste des mesures opérationnelles potentielles.

PARTIE 1

Les gymnases sont souvent de bons candidats pour l'installation d'un système de ventilation selon la demande, puisqu'ils ont tendance à avoir un modèle d'occupation très variable dans le temps.

Un bon indicateur d'une ventilation adéquate dans une école est la concentration de dioxyde de carbone (CO_2). ASHRAE recommande d'utiliser une concentration de CO_2 équivalant à 700 parties par million (ppm) au-dessus des concentrations ambiantes (extérieures) pour indiquer qu'un approvisionnement de 7,5 L/s (15 pi. cu./min) d'air extérieur par personne est nécessaire.

Conformément aux lignes directrices d'ASHRAE, des concentrations de CO_2 de plus de 700 ppm au-dessus des concentrations ambiantes indiquent un approvisionnement inadéquat d'air extérieur aux occupants du bâtiment. Si les concentrations ambiantes sont de 400 ppm (2014), les concentrations ambiantes maximales de CO_2 recommandées équivalent à 1 100 ppm.

- **Utiliser un système de ventilation selon la demande (VSD) :** Un système de VSD permet de s'assurer qu'un bâtiment est bien ventilé tout en minimisant les flux d'air extérieur. En général, des capteurs sont utilisés pour surveiller continuellement les taux de CO_2 dans l'espace conditionné, permettant à la CTA de moduler le taux de renouvellement de l'air extérieur pour qu'il corresponde à la demande établie en fonction des besoins d'occupation de l'espace ou de la zone (le CO_2 est considéré comme un indicateur du niveau d'occupation; plus le taux de CO_2 est élevé, plus il y a de gens dans l'espace et, par conséquent, plus la quantité d'air extérieur requise est élevée).

  Historiquement, les systèmes de ventilation des bâtiments étaient conçus pour fonctionner selon des taux de renouvellement d'air constants ou prédéterminés, sans égard aux niveaux d'occupation. Puisque les taux de renouvellement d'air reposent normalement sur les taux d'occupation maximums, le fonctionnement des ventilateurs et le conditionnement de l'air extérieur excédentaire engendrent un gaspillage d'énergie durant les périodes d'occupation partielle.

  Les systèmes de VSD tentent continuellement d'établir une correspondance entre l'approvisionnement en air extérieur et les niveaux d'occupation réels, ce qui entraîne d'importantes économies d'énergie en comparaison d'un système à débit d'air constant. Des capteurs de CO_2 devraient être utilisés dans les zones d'occupation dense et présentant des modèles d'occupation très variables, par exemple les gymnases, les auditoriums, les espaces multifonctionnels, les cafétérias et certaines salles de classe. Pour ce qui est des autres zones, des capteurs d'occupation devraient être utilisés pour réduire la ventilation lorsqu'une zone est temporairement inoccupée. Les contrôles d'économiseur devraient toujours avoir priorité sur le système de VSD dans les séquences de contrôle.

- **Remplacer les systèmes à débit d'air constant par des systèmes à débit variable dans les installations à zones multiples** : Règle générale, les besoins en flux d'air des systèmes à DAV équivalent à environ 60 % de ceux des systèmes à DAC. La conversion d'un ancien système DAC de réchauffage multizone ou à deux conduits en un système à DAV moderne et éconergétique est une tâche devant être exécutée par un ingénieur spécialisé en systèmes de CVCA.

  Afin de déterminer les économies d'énergie potentielles, vous devrez modéliser la conversion par rapport au système existant. La détermination du rendement du capital investi dépend essentiellement de l'exactitude des coûts de mise en œuvre. Un modèle schématique du système est l'exigence minimale pour développer une estimation des coûts associée à la mise en œuvre d'une telle conversion.

PARTIE 1

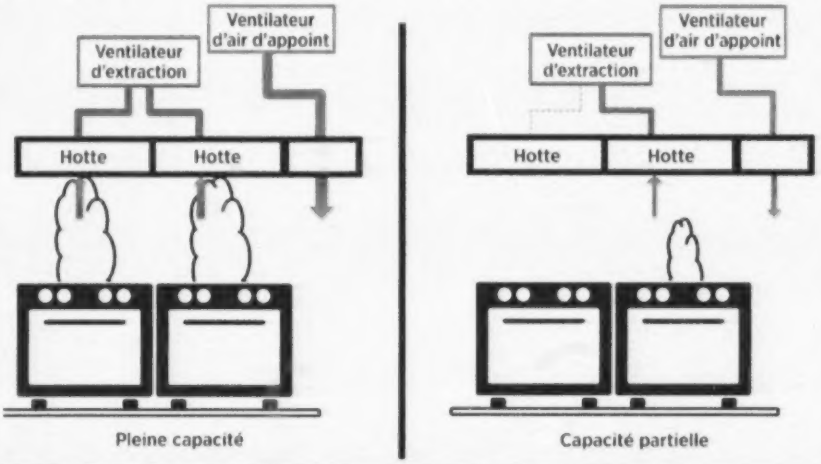
Air d'évacuation des hottes de cuisine

Les systèmes de VSD peuvent aussi s'appliquer aux cafétérias des écoles; cependant, au lieu de contrôler la ventilation à l'aide de capteurs de CO_2, les ventilateurs d'extraction sont contrôlés en fonction de la température ou des capteurs optiques ou infrarouges qui surveillent l'activité de cuisine, ou d'une communication directe avec les appareils de cuisson.

L'équipement de préparation des aliments et les ventilateurs de cuisine peuvent consommer beaucoup d'énergie dans les cafétérias des écoles. L'air d'évacuation des hottes est la plus importante source de cette consommation d'énergie. La première étape pour réduire la consommation d'énergie est donc de réduire le débit d'air en utilisant des hottes à haute efficacité qui présentent des taux peu élevés de captage et de retenue du débit d'air. La deuxième étape consiste à utiliser un système de VSD pour réduire davantage le débit d'air d'évacuation lorsqu'aucune cuisson n'est effectuée sous la hotte, comme l'illustre la figure 12.

En présence d'un système de VSD pour la cuisine, la hotte fonctionne selon un régime de débit d'air maximal chaque fois qu'une activité de cuisson est effectuée au maximum de sa capacité, mais ce fonctionnement est réduit lorsque l'activité de cuisson diminue. Le système contrôle à la fois le ventilateur d'air d'appoint et le ventilateur d'extraction afin d'assurer l'équilibre du système de ventilation. Ce genre de système peut engendrer des économies d'énergie de 60 % ou plus par rapport à la ventilation dans les cuisines[33].

Figure 12. Ventilation selon la demande dans une cuisine commerciale



[33] energystar.gov/about/2015-emerging-technology-award-demand-control-kitchen-ventilation (en anglais seulement).

1 PARTIE

Le **facteur de puissance** est le ratio de puissance réelle par rapport à la puissance apparente. Un ratio plus élevé (proche de 1) signifie que ces deux valeurs sont plus proches l'une de l'autre, ce qui se traduit par des pertes réduites sur le plan de l'équipement de distribution électrique et des services publics.

- **Redimensionner les ventilateurs :** Les moteurs de ventilateurs surdimensionnés engendrent un faible facteur de puissance, et puisque la majorité des services publics exigent des frais additionnels en fonction des facteurs de puissance inférieurs à 90 %, des ventilateurs de capacité appropriée peuvent permettre d'économiser sur les coûts d'électricité et les coûts liés à la demande.

  Le remplacement des ventilateurs par des unités plus petites et de capacités appropriées comporte un faible coût initial et offre un meilleur confort aux occupants, en plus de prolonger la durée de vie des équipements. Au moment de choisir un moteur de capacité appropriée, considérez de faire une mise à niveau en choisissant un moteur à rendement supérieur, d'installer un EVV et d'utiliser des courroies écoénergétiques afin de faire les meilleures économies.

- **Installer des entraînements à vitesse variable :** Les EVV sont une option de réaménagement efficace et économique pour tout ventilateur ou toute pompe à charge variable. Les EVV font varier la vitesse du moteur en fonction des conditions de fonctionnement réelles, plutôt que de les faire fonctionner continuellement à plein régime. Lorsqu'on les utilise pour contrôler les ventilateurs et les pompes, une réduction de 20 % de la vitesse de ces derniers peut entraîner une diminution de la consommation d'énergie de près de 50 %.

  Les EVV sont un composant important d'un système à DAV écoénergétique. Au fur et à mesure que les charges diminuent et que les terminaux à DAV se ferment, la vitesse du ventilateur peut être réduite conformément. Bon nombre des systèmes à DAV existants sont configurés avec une vitesse de ventilateur constante et un registre de contournement, où l'excédent d'air qui n'est pas acheminé aux points d'échange est déchargé dans la chambre de distribution d'air de retour. Voilà un mauvais concept, mais qui a tout de même été adopté, étant donné son coût d'installation plus économique.

- **Remplacer les filtres à air existants par des épurateurs d'air électroniques :** Les épurateurs d'air électroniques utilisent deux technologies de filtration : un filtre passif qui dépend de la densité pour capter les contaminants, ainsi qu'une attraction électrostatique pour améliorer la filtration. Ils présentent plusieurs avantages pour les systèmes de CVCA :

  - *Réduction de la puissance du ventilateur* – La baisse de pression statique entraînée par les épurateurs d'air électroniques correspond généralement à 250 Pa (1 pouce) de moins que celle des filtres à air conventionnels. Cela diminue la consommation d'énergie par le ventilateur ou permet de choisir de plus petits ventilateurs si la CTA existante doit être remplacée.
  - *Amélioration de la qualité de l'air intérieur* – Les épurateurs d'air électroniques peuvent filtrer les émissions provenant des autos, les bactéries et les composés organiques volatils provenant des tapis, des meubles et des produits de nettoyage. En améliorant la qualité de l'air intérieur, les

propriétaires de bâtiments peuvent réussir à diminuer les niveaux d'air extérieur grâce à un programme de surveillance afin de faire encore plus d'économies d'énergie.

- *Prolongation de la durée de vie utile et diminution de l'entretien* – Les épurateurs d'air électroniques ont des besoins d'entretien moins importants que les filtres à air conventionnels, dont les préfiltres doivent généralement être changés tous les trois mois.

- **Installer un système de récupération de chaleur sur les flux d'air évacué :** La récupération de chaleur est une exigence du CNÉB pour certains bâtiments neufs et une option qui permet de faire d'intéressantes économies d'énergie. Il existe trois principaux types de moyens de récupérer la chaleur qui sont bien adaptés aux écoles : les noyaux de récupération de chaleur, les roues thermiques à récupération d'énergie ou roues enthalpiques et les appareils à flux d'air inversé.

  Les *noyaux de récupération de chaleur* contiennent un noyau de flux transversal où l'air extérieur et l'air évacué, séparés par de minces parois d'aluminium ou de plastique, passent par de petits canaux qui permettent l'échange rapide de chaleur entre les flux d'air. Puisque les flux d'air sont séparés, ces ventilateurs récupèrent principalement la chaleur sensible, avec une efficacité entre 55 % et 65 %.

  Le transfert de chaleur **sensible** est associé aux changements de la température de l'air.

  La chaleur **latente** est l'énergie absorbée ou libérée durant un changement de phase de gaz à liquide ou vice versa.

  Les *roues thermiques à récupération d'énergie ou roues enthalpiques* sont des roues dont la moitié est disposée dans le flux d'air évacué, et l'autre moitié, dans le flux d'air extérieur. La roue tourne continuellement, permettant à la chaleur et à l'humidité d'être absorbées à partir d'un flux d'air pour être ramassées par l'autre flux d'air, plus frais et généralement plus sec; ce procédé permet le transfert d'énergie latente en plus que d'énergie sensible. Les roues thermiques à récupération d'énergie ont généralement un bon rendement en matière de récupération de chaleur, leur efficacité sensible variant entre 60 % et 72 % et leur efficacité latente, entre 50 % et 60 %.

  Les *appareils à flux d'air inversé* sont dotés de deux grandes cartouches métalliques (généralement en aluminium) ayant une masse thermique élevée. Dans ces appareils, un grand registre sert à créer une alternance séquentielle entre le flux d'air évacué et le flux d'air extérieur entre les deux cartouches. La masse thermique des cartouches est utilisée pour emmagasiner et libérer alternativement de l'énergie lorsque la direction du flux est inversée. Les appareils à flux inversé, qui ont une efficacité sensible de 90 % l'hiver, sont les appareils de récupération de chaleur les plus efficaces offerts sur le marché; cependant, ils peuvent être assez dispendieux et peuvent nécessiter des changements structuraux à la toiture. C'est pourquoi une analyse du coût-avantage global sur le cycle de vie devrait être effectuée avant de choisir cette option.

PARTIE 1

- **Installer des dispositifs de chauffage solaire de l'air dans les systèmes d'air d'appoint :** Ce type de système est bien adapté pour préchauffer l'air extérieur dans les cas où la récupération de chaleur est impossible, ou lorsque les systèmes de ventilation sont conçus pour surventiler. Les capteurs solaires peuvent être montés sur un mur ou sur un toit. Les gymnases ont généralement de vastes aires de murs et de toit qui peuvent faciliter les réaménagements.

  Dans des conditions favorables (p. ex. faible vent), les capteurs ont une efficacité de près de 90 % et peuvent fournir entre 493 et 1 031 kWh/m^2 (superficie du capteur) par année. Les coûts varient entre 530 $ et 700 $ le capteur, chaque capteur pouvant avoir un rendement de 118 l/s (250 pi. cu./min). Les coûts totaux du système varient entre 15 $ et 17 $ le l/s (7 $ ou 8 $ le pi. cu./minute).

  Si le raccordement à la CTA du gymnase est une tâche complexe, des capteurs solaires muraux peuvent être utilisés pour déstratifier l'air à l'intérieur du gymnase. L'air extérieur préchauffé par le capteur est mélangé avec l'air chaud près du plafond du gymnase pour déstratifier et ventiler l'espace, ce qui permet de ralentir ou d'éteindre la CTA au fur et à mesure que l'air chaud en hauteur est redistribué au plancher du gymnase. Consultez l'encadré à la page 50 pour en savoir plus sur la déstratification.

- **Installer un système à débit de réfrigérant variable (DRV) :** Les systèmes à DRV se composent de thermopompes distribués qui répondent aux besoins de conditionnement d'air des différentes zones. Ils peuvent être configurés pour fournir de la chaleur dans certaines zones et rafraîchir d'autres zones simultanément, une fonctionnalité requise par de nombreuses écoles durant les saisons intermédiaires et parfois toute l'année dans celles qui ont de vastes zones intérieures. Par exemple, le côté sud d'un bâtiment peut jouir de gains de chaleur, et donc nécessiter un refroidissement, tandis que le côté nord nécessite un chauffage. Grâce à un système à DRV à tuyau triple, le rejet de chaleur est transféré aux zones nécessitant de la chaleur. Les systèmes à DRV sont 25 % plus efficaces que les systèmes de CVCA traditionnels; cependant, étant donné qu'ils dépendent exclusivement de l'électricité, généralement plus dispendieuse que le gaz naturel, une analyse des coûts-avantages devrait être réalisée pour déterminer si un système à DRV s'agit d'une option viable pour votre installation.

- **Remplacer le système de distribution d'air mélangé par un système dédié à l'air extérieur :** En comparaison aux systèmes de distribution d'air standards, comme le système à DAV, un système dédié à l'air extérieur (DOAS, pour l'anglais, *dedicated outdoor air system*) distribue la bonne quantité d'air extérieur directement à chaque zone, ou du côté d'alimentation de chaque unité de CVCA locale. L'air extérieur peut être partiellement conditionné lorsqu'il entre dans le bâtiment par l'équipement de récupération d'énergie, et le conditionnement final peut être effectué par l'équipement de CVCA à l'échelle de la zone.

Les systèmes à DRV sont idéaux pour les réaménagements. Les unités de thermopompe sont petites, silencieuses et adaptables (peuvent être installées dans le vide du plafond); de plus, la tuyauterie de réfrigération entre les unités de thermopompe et les condensateurs est de petit diamètre. La taille du réseau de gaines du système de ventilation peut être diminuée, puisque seul l'air extérieur et l'humidification et deshumidification sont sollicités de la part du système central; les unités à DRV effectuent la totalité du chauffage et de la climatisation dans la zone.

Un DOAS nécessite généralement de 20 % à 70 % moins d'air extérieur qu'un système de distribution standard pour assurer une distribution adéquate d'air de ventilation dans chaque espace. Ainsi, la quantité d'énergie nécessaire pour conditionner l'air extérieur est moins importante. Un DOAS :

- nécessite une quantité d'énergie de chauffage généralement moins élevée en raison d'une réduction du conditionnement de l'air extérieur;
- élimine le réchauffage de zone;
- nécessite globalement une capacité de refroidissement moins importante;
- nécessite globalement une quantité d'énergie de refroidissement moins importante pendant une grande partie de l'année en tirant profit de l'énergie de refroidissement latente déjà créée par l'unité dédiée à l'air extérieur;
- nécessite un flux d'air ventilé moins important et, par conséquent, moins d'énergie de ventilation.

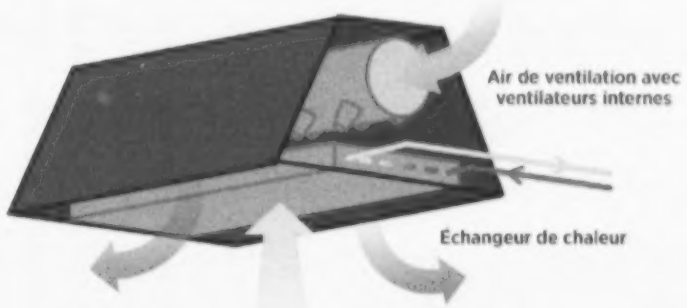
Poutres froides

Les systèmes à poutres froides sont un exemple de systèmes de conditionnement de l'espace qui ont été conçus pour être utilisés avec les DOAS.

Les poutres froides conditionnent l'air directement dans l'espace où elles sont situées. Malgré leur nom, elles peuvent servir tant au refroidissement qu'au chauffage. Bien qu'il existe deux types de poutres froides, passives et actives, seules les poutres froides actives conviennent aux zones climatiques canadiennes.

Les poutres froides actives sont conçues pour distribuer de l'air de ventilation par une buse qui induit de l'air ambiant par un serpentin refroidi ou chauffant dans la poutre avant de le mélanger avec l'air de ventilation. Une unité de distribution d'air de ventilation peut distribuer entre deux et six unités d'air secondaire par la poutre, réduisant considérablement le volume d'air requis de la part de la CTA.

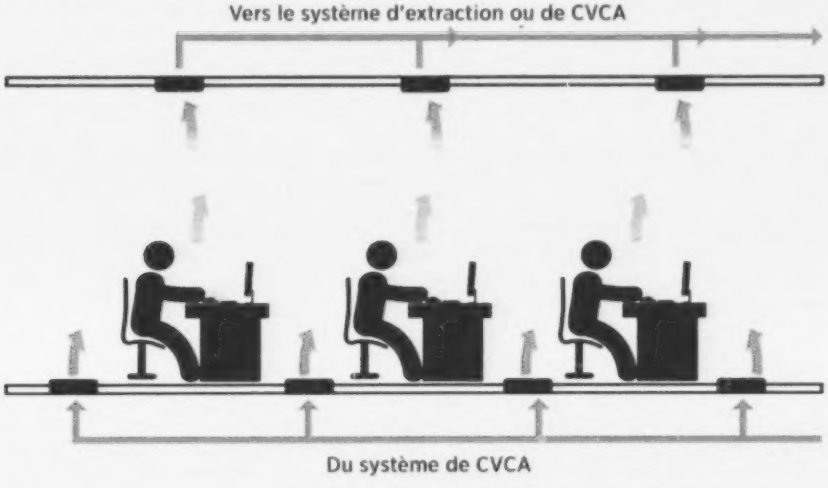
Figure 13. Chauffage par poutres froides



1 PARTIE

- **Remplacer le système de ventilation mixte par un système de ventilation par déplacement d'air :** Les systèmes conventionnels de ventilation à débit d'air constant ou variable distribuent un mélange d'air extérieur et d'air intérieur dans un espace donné au moyen de diffuseurs plafonniers. La vitesse d'écoulement de l'air d'alimentation doit être assez élevée pour que l'air puisse atteindre la zone de respiration de la salle, et l'air d'alimentation doit être suffisamment mélangé avec l'air ambiant pour atteindre les points de consigne de température de l'espace. Le système de ventilation par déplacement d'air (DV, pour l'anglais, *displacement ventilation*) distribue de l'air à un niveau bas, plus près de la zone de respiration, comme le montre la figure 14. L'air se déplace horizontalement à bas niveau et s'élève lorsqu'il rencontre une source de chaleur. Les polluants sont entraînés par l'air chaud montant, qui circule verticalement et ne se mélange pas avec l'air ambiant. L'air circulant à niveau élevé peut ensuite être évacué à l'extérieur ou retourné à la CTA pour être filtré. Le système de DV a donc une efficacité de ventilation supérieure à celle des systèmes conventionnels de distribution par diffuseurs plafonniers.

Figure 14. Ventilation par déplacement d'air



Les systèmes de DV peuvent être utilisés avec une CTA à DAV ou une unité installée sur un toit. En plus de leur efficacité de ventilation supérieure, ces systèmes sont aussi beaucoup plus silencieux que les systèmes conventionnels, une caractéristique attribuable à leurs moins grandes vitesses d'air d'alimentation.

Les économies d'énergie s'effectuent comme suit :

- *Demande de refroidissement réduite* – L'air distribué peut atteindre 18 °C (65 °F) au lieu du traditionnel 13 °C (55 °F) en mode de refroidissement. Cela économise l'énergie de refroidissement en réduisant la charge de l'équipement de refroidissement à l'eau et en augmentant les heures de refroidissement naturel dans la classe.
- *Volumes d'air extérieur réduits* – L'efficacité de ventilation supérieure des systèmes de DV permet une réduction des volumes d'air extérieur, réduisant l'énergie nécessaire pour chauffer et refroidir l'air d'alimentation.

- **Installer des ventilateurs de grand volume et basse vitesse dans les gymnases :** Les ventilateurs de grand volume et basse vitesse (GVBV) sont considérés comme des systèmes de déplacement d'air, et non simplement comme des systèmes de climatisation. Ils déplacent et mélangent efficacement de grands volumes d'air. À cause des grandes masses d'air déplacées, ils sont efficaces pour aider à refroidir, chauffer (au moyen de la déstratification de la chaleur) et ventiler.

  Les ventilateurs GVBV ont généralement un diamètre de 2,4 à 7,3 m (de 8 à 24 pi.) pour déplacer de grands volumes d'air à des vitesses très basses. Cela crée un flux d'air léger, mais important, qui a un effet de refroidissement immédiat dans une pièce où il fait chaud. Un ventilateur de 7,3 m (24 pi.) peut déplacer jusqu'à 177 830 litres d'air par seconde (376 804 pi. cu. par minute). Idéalement, un ventilateur GVBV enverra une colonne d'air qui cheminera vers le bas et selon un axe de 360° vers les murs, retournera au plafond et ensuite au ventilateur. Ce modèle, connu comme étant la circulation des jets au niveau du plancher, permet l'échange naturel d'air dans de vastes espaces.

  La déstratification économise l'énergie de chauffage en faisant circuler la chaleur au niveau du plancher, là où elle est nécessaire pour préserver le confort des occupants. Le mélange de l'air réduit aussi les températures de plafond, ce qui réduit les pertes de chaleur par le toit.

  L'énergie de refroidissement est aussi économisée en raison du mouvement de grandes masses d'air à la bonne vitesse pour l'effet de refroidissement par évaporation de 3,3 à 4,4 °C (de 6 à 8 °F). Par conséquent, les thermostats peuvent être réglés à des températures plus élevées; jusqu'à 8 °C (15 °F) plus chaud sans compromettre le confort.

PARTIE 4

L'importance de la déstratification

La déstratification peut être utilisée pendant toute la saison de chauffage pour économiser l'énergie dans les vastes pièces telles que les gymnases. Il est bien connu que l'air chaud monte, et dans les espaces comportant des plafonds hauts, il n'est pas rare de trouver des températures de l'air dans la strate la plus haute de l'espace, près du toit, qui sont de 10 à 30 °C plus élevées que les températures au niveau du plancher.

> La formule pour la perte de chaleur est la suivante : $\mathbf{Q = (1/RSI) \times A \times (T_{int} - T_{ext})}$, RSI représentant le niveau d'isolation, A représentant la superficie du toit et $(T_{int} - T_{ext})$ représentant l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Puisque les niveaux d'isolation (RSI) et la superficie du toit (A) sont fixes, la quantité de chaleur perdue par le toit est une fonction de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur $(T_{int} - T_{ext})$. Par conséquent, si les températures de l'espace sont hautement stratifiées durant la saison de chauffage, l'espace devient considérablement surchauffé pour maintenir les températures souhaitables dans la zone occupée.

L'exemple qui suit montre comment le taux de perte de chaleur change en fonction de la température de l'espace près du plafond. Dans cet exemple, le gymnase a une superficie de toit de 2 500 m^2 et une valeur RSI de toit de 5,46 (R-31).

Cas n° 1 : sans déstratification	*Cas n° 2 : avec déstratification*
Température extérieure = -10 °C Température près du plafond = 30 °C	Température extérieure = -10 °C Température près du plafond = 15 °C
Q = 1/5,46 × 2 500 × [30 - (-10)] = 458 × (40) = 18 315 W	Q = 1/5,46 × 2 500 × [15 - (-10)] = 458 × (25) = 11 450 W

La perte de chaleur par le toit est réduite de 37 % en abaissant la température près du plafond de 15 °C, ou autrement dit, 37 % moins de chaleur est requise pour maintenir la même température de l'espace dans la zone occupée. Des économies additionnelles découleront d'une réduction de la perte de chaleur par la partie supérieure des murs.

- **Installer des diffuseurs d'air à jets rotatifs à haute induction dans les gymnases :** Dans certains cas, il n'y aura peut-être pas assez d'espace pour installer des ventilateurs GVBV. Dans ces cas, les diffuseurs d'air à jets rotatifs peuvent être un meilleur choix. Les diffuseurs d'air à jets rotatifs à haute induction créent un modèle de distribution qui achemine l'air conditionné vers la zone d'occupation. Il en résulte un meilleur mélange d'air et une stratification réduite.

- **Réaménager les systèmes d'évacuation d'air des ateliers :** Dans les écoles, les ateliers de métallurgie, de menuiserie et autres consomment de grandes quantités d'énergie pour fournir de l'air d'appoint aux systèmes locaux de ventilation et d'évacuation. Les activités qui s'y déroulent produisent aussi une vaste gamme de contaminants (p. ex. particules lourdes, poussière, fumée). Les stations d'évacuation locales conçues pour enlever les contaminants nécessitent généralement des vitesses élevées d'écoulement de l'air et de grandes quantités d'air d'évacuation et d'air d'appoint.

  Commencez par considérer si un épurateur d'air recyclé convient à l'atelier de votre école. Les systèmes d'évacuation qui épurent et recyclent l'air ont un coût d'investissement plus élevé que les systèmes conventionnels d'air d'évacuation et d'air d'appoint, mais ont souvent de courtes périodes de récupération des coûts lorsque le coût de chauffage de l'air d'appoint froid de l'hiver est considéré.

  Si la recirculation de l'air n'est pas possible, des unités d'air d'appoint alimentées au gaz naturel à haute efficacité (de 90 % à 93 %) ou des unités raccordées à un système de chauffage central à haut rendement devraient être utilisées et synchronisées afin d'éviter que de l'air soit alimenté lorsque le système d'évacuation local est hors fonction.

  Puisque les unités d'isolation de vêtements (clo) sont généralement plus élevées dans les ateliers, les températures minimales de refroidissement naturel peuvent être abaissées pour prolonger les heures de ce processus. Par temps plus chaud, les portes de garage des ateliers peuvent être ouvertes pour permettre un apport d'air extérieur passif, et verrouillées (enclenchées) avec l'unité d'air d'appoint pour éviter son fonctionnement lorsque les portes sont ouvertes.

Mise au point des salles de classe mobiles

Une salle de classe mobile conçue pour accueillir 30 élèves aurait typiquement une superficie de 70 à 90 m^2 (de 750 à 1 000 pi. ca.). Les salles de classe mobiles sont une anomalie dans le code de bâtiment. On considère un élément mobile comme un montage de la partie 3 pour ce qui est de l'occupation; cependant, il est essentiellement une construction de petit bâtiment de la partie 9, et les exigences à son égard en matière d'efficacité énergétique sont régies par le Code national du bâtiment (CNB), plutôt que le Code national de l'énergie pour les bâtiments (CNÉB). Certaines provinces, par exemple la Colombie-Britannique et l'Ontario, ont des codes provinciaux qui prescrivent les exigences d'une construction de base mobile, la sécurité-incendie, l'accessibilité et la plomberie (s'il y a lieu) à la partie 9 du code provincial du bâtiment.

Tandis qu'il existe des nouvelles salles de classe mobiles plus écoénergétiques, les modèles plus anciens peuvent être réaménagés pour améliorer certains problèmes, comme la fonctionnalité limitée des contrôles, les fenêtres à mauvais rendement, l'infiltration d'air dans des proportions importantes et l'isolation minimale.

1 PARTIE

Exemple :
La Commission scolaire de district de la région de York (Ontario) supervise la gestion de plus de 425 salles de classe mobiles. En janvier 2012, les réaménagements effectués à ses salles de classe mobiles ont compris l'amélioration de l'éclairage; l'installation de contrôles de l'éclairage, de la température et de la ventilation; et l'ajout d'isolant au toit et aux murs.

Source : York Region District School Board *Energy Conservation and Demand Management Plan* (en anglais seulement)

Liste des mesures relatives aux salles de classe mobiles

- ✓ Ajouter un thermostat programmable
- ✓ Réduire l'infiltration
- ✓ Ajouter un pare-air
- ✓ Ajouter une fournaise à haut rendement
- ✓ Ajouter des matériaux isolants
- ✓ Améliorer les portes et fenêtres
- ✓ Ajouter un ventilateur-récupérateur de chaleur
- ✓ Améliorer l'éclairage

- **Ajouter un thermostat programmable :** Les thermostats programmables permettent d'établir des points de consigne de températures pour les périodes d'occupation et d'inoccupation, de programmer des remises à la température de consigne et d'éteindre le système de ventilation durant les périodes d'inoccupation. Les options plus avancées offertes sur le marché permettent la détection de l'occupation et de l'inoccupation, les options de contrôle programmables sur 365 jours et la communication sans fil avec les systèmes de contrôle automatique de bâtiment.
- **Réduire l'infiltration :** L'infiltration, ou les fuites d'air, est un facteur important sur le plan du rendement énergétique et du confort des occupants. Utilisez des infiltromètres, des poires à fumée et l'imagerie thermographique pour détecter les brèches d'étanchéité. (Consultez aussi la section Réduction des charges supplémentaires.)
- **Ajouter un pare-air :** Un pare-air qui entoure l'enveloppe du bâtiment est un composant essentiel d'une étanchéité efficace.
- **Ajouter une fournaise à haut rendement :** Les fournaises résidentielles sont appropriées pour les salles de classe mobiles et ont une efficacité de combustion pouvant aller jusqu'à 98 %.
- **Ajouter des matériaux isolants :** Ajoutez une couche d'isolation rigide continue de 25 à 50 mm aux murs extérieurs et une couche d'isolation au sous-plancher et aux combles conformément aux exigences du CNÉB.
- **Améliorer les portes et les fenêtres :** Améliorez les portes et fenêtres conformément aux exigences en matière d'efficacité énergétique du CNB. (Consultez aussi la section Réduction des charges supplémentaires.)
- **Ajouter un ventilateur-récupérateur de chaleur :** L'ajout d'un ventilateur-récupérateur de chaleur est une solution écoénergétique qui permettra d'effectuer une ventilation adéquate pour favoriser un environnement intérieur sain.
- **Améliorer l'éclairage :** Utilisez des lampes plus écoénergétiques, ajoutez des contrôles et étudiez la possibilité d'utiliser l'éclairage naturel. (Consultez la section Améliorations de l'éclairage.)

PARTIE 1

Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement

La section qui suit aborde les deux principaux types de systèmes de chauffage et de refroidissement, central et autonome, ainsi que les systèmes d'eau chaude domestique.

Les systèmes centraux consistent de chaudières et de refroidisseurs qui alimentent les CTA et les convecteurs.

Les systèmes autonomes se caractérisent souvent par une unité combinée de chauffage-refroidissement, par exemple une unité de toit avec système de chauffage et de refroidissement par détente directe, complétée par un ventilateur d'alimentation et, possiblement, un ventilateur de retour.

Dans un souci de respecter l'approche de réaménagements par phases, l'équipement de chauffage et de refroidissement peut tirer profit des réductions de charge effectuées aux phases précédentes. Non seulement les systèmes de chauffage et de refroidissement bénéficieront-ils d'une efficacité améliorée de l'équipement, mais les capacités du système pourront aussi être réduites, permettant ainsi des économies d'énergie encore plus importantes. De plus, nombreux systèmes existants sont surdimensionnés, alors il est possible de justifier le remplacement du système actuel par un système de capacité appropriée, ou de le réaménager pour qu'il soit plus efficace.

Systèmes de chauffage centraux

La majorité des systèmes de chauffage centraux des écoles sont alimentés par des chaudières à eau chaude. Bon nombre de chaudières existantes ont plus de 20 ans et fonctionnent à des efficacités entre 60 % et 70 %, notamment en raison d'une mauvaise conception; d'un contrôle inadéquat; de défectuosités de la tuyauterie, des pompes ou du rayonnement; ou de cycles d'opération excessivement courts et fréquents. Les chaudières modernes peuvent atteindre une efficacité aussi élevée que 97 % et convertir pratiquement tout le combustible en chaleur utile.

Réaménager ou remplacer

Avant de prendre une décision concernant le réaménagement ou le remplacement des chaudières, certains critères précis doivent être évalués. Ces critères ont une incidence sur plusieurs composants du système de chaudières :

- Établissement du coût du cycle de vie du produit : Au moment de choisir, considérez la durée de vie utile et les choix relatifs à l'efficacité et au type (à condensation ou sans condensation).
- Opérations : Besoins courants et à long terme, heures de fonctionnement, incidence du temps d'arrêt, etc.
- Installation physique : Superficie mécanique, accès, alimentation, tuyauterie, procédés, personnel de l'exploitation, etc.
- Considérations budgétaires : Dépenses en immobilisations disponibles, incitatifs des services publics, économies d'énergie.

Exemple :
Commission scolaire des Samares (Québec)

Depuis 2005, la Commission scolaire des Samares (régions de Joliette, Montcalm et D'Autray) a économisé plus de 5 M$ en coûts énergétiques. Grâce à une combinaison de systèmes intégrés – géothermie, biomasse, solaire et éolien – les écoles ont complètement éliminé leurs consommations de mazout et réduit leurs émissions de gaz à effet de serre de 85 %.

Source : ecosystem.ca.

PARTIE 1

Avant de décider de réaménager une chaudière, vous devez considérer l'entretien du système existant. Si la chaudière n'a pas été bien entretenue, vous devrez probablement remplacer le système au complet; cependant, si la chaudière a été entretenue sur une base régulière, le réaménagement pourrait être la meilleure option. Pour trancher, demandez à un professionnel de l'inspecter.

Bien que la tendance soit de remplacer les vieux systèmes par un nouvel équipement, ne sous-estimez pas l'importance de l'entretien régulier pour contrôler les coûts énergétiques. Une situation qui semble aussi mineure qu'un flux s'écoulant à travers des filtres à air sales peut provoquer une chaudière à fonctionner inefficacement. Souvent, les employés oublient de vérifier les filtres, ou encore ils attendent qu'ils paraissent sales avant de les changer; à ce moment-là, il est généralement plusieurs mois trop tard.

Bien que le réaménagement d'une vieille chaudière soit initialement une option moins dispendieuse que l'achat d'une chaudière neuve, vous devez aussi déterminer si le réaménagement est l'option la plus rentable à long terme.

Cotes d'efficacité

L'efficacité des chaudières est fréquemment exprimée au moyen du rendement de combustion (E_c), du rendement thermique (E_t) ou du rendement énergétique annuel (AFUE, pour l'anglais, *annual fuel utilization efficiency*). L'efficacité exprimée au moyen de la combustion ou du rendement thermique est une mesure de l'efficacité à l'état stable; l'efficacité exprimée au moyen de l'AFUE est plutôt une mesure de l'efficacité à l'état variable, qui rend compte du rendement d'une chaudière lorsqu'elle fonctionne à charge partielle et qu'elle fonctionne au ralenti entre les demandes de chaleur (une estimation de la pleine efficacité opérationnelle). Voici les cotes minimales des chaudières à gaz pour les nouveaux bâtiments prescrites par le CNÉB :

Tableau 3. Cotes d'efficacité de chaudières à gaz

Capacité de la chaudière	Cote	Efficacité minimum prescrite dans le CNÉB de 2011	Meilleure chaudière disponible
<88 kW	AFUE	85 %	97 %
88–733 kW	Rendement de combustion (E_c)	82,5 %	95 %
88–733 kW	Rendement thermique (E_t)	83 %	95 %
>733 kW	Rendement de combustion (E_c)	83,3 %	85–95 %

PARTIE 1

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (systèmes de chauffage centraux)

Mesures de réaménagement

- ✓ Commencer par les mesures de premier ordre
- ✓ Remplacer le système de contrôle des chaudières
- ✓ Éliminer les valves d'étranglement du débit
- ✓ Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites
- ✓ Contrôler les pompes des chauffe-eau à l'aide d'entraînements à vitesse variable
- ✓ Remplacer les brûleurs
- ✓ Installer des turbulateurs dans les chaudières à tubes de fumée

Mesures de remplacement

- ✓ Remplacer le système par une chaudière à condensation
- ✓ Remplacer le système par une chaudière à modulation
- ✓ Remplacer le système par un système de chaudières hybride
- ✓ Remplacer le système par un système de thermopompe

Si vous décidez de **réaménager**, considérez ces options :

- **Commencer par les mesures de premier ordre :** Les systèmes de chaudières existants peuvent être optimisés en s'assurant qu'une réinitialisation du chauffage de l'eau a été activée. Il est aussi important de s'assurer que les valves du serpentin de chauffage soient fermées en saison de refroidissement et que les conduits de chauffage soient bien isolés. Consultez la phase Commissioning des bâtiments existants pour plus de détails.
- **Remplacer le système de contrôle des chaudières :** Les nouveaux développements en matière de contrôle des chaudières créent des possibilités de gains d'efficacité substantiels, notamment des mesures comme la réinitialisation de la température de l'eau chaude en fonction des températures extérieures, l'optimisation du rapport air-combustible, l'amélioration de la structure étagée des chaudières et l'ajout de contrôles de la vitesse variable des pompes de circulation.

Exemple :
Commission scolaire des Laurentides, Sainte-Agathe-des-Monts, Québec

L'investissement de 6,7 M$ de la commission scolaire dans des réaménagements énergétiques majeurs a servi à améliorer le système de d'éclairage, à installer un système de contrôle automatique de bâtiment, à améliorer le système de CVCA et les chaudières, et à installer des thermopompes géothermiques à air et des systèmes de chauffage hybrides. Les réaménagements ont une période de récupération simple de 11 ans; elles ont permis de réduire la consommation de gaz naturel de 63 % et d'électricité de 16 % et d'économiser plus de 370 000 $ par année en coûts énergétiques.

Et les avantages ne s'arrêtent pas là : une diminution de l'arriéré en entretien différé — absorbée par les coûts d'énergie économisés — un confort et une qualité d'éclairage améliorés, une réduction des coûts d'entretien et une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 63 %.

Source : Ameresco

PARTIE 1

Les chaudières doivent fonctionner avec un apport excessif en oxygène dans les gaz de combustion pour assurer la combustion complète du combustible, produisant ainsi une énergie thermique maximale. Cependant, une trop grande quantité d'oxygène refroidit la flamme, donc le contrôle des quantités d'air et de combustible est essentiel pour une efficacité optimale.

- **Éliminer les valves d'étranglement du débit :** Cette mesure permet de réduire la consommation d'énergie des pompes. Si des valves sont installées pour contrôler le flux afin de respecter le débit de conception, les mesures d'économies d'énergie comprennent l'ouverture complète des valves et la conversion en contrôles de vitesse variable, l'ajustement de la roue ou un contrôle étagé des pompes.

- **Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites :** La plupart des moteurs à induction qui alimentent les pompes atteignent une efficacité de pointe à environ 75 % de la charge et sont moins efficaces lorsqu'ils fonctionnent à pleine charge. Lorsque c'est possible, les pompes devraient être dimensionnées de façon à ce que durant la majeure partie de leur temps de fonctionnement, elles fonctionnent selon le facteur de charge le plus efficace, ou presque. Si une pompe est surdimensionnée, elle fonctionnera vraisemblablement à un facteur de charge inefficace, ce qui aura un effet négatif sur le facteur de puissance du système électrique, aboutissant potentiellement à des charges de demandes plus élevées.

- **Contrôler les pompes des chauffe-eau à l'aide d'entraînements à vitesse variable :** Habituellement, pendant une bonne partie de la saison de chauffage, les zones n'ont besoin que de chauffage partiel pour maintenir des conditions de confort. En réduisant la vitesse de la pompe afin de fournir seulement l'intensité de chauffage de l'eau nécessaire pour compenser la perte de chaleur réelle du bâtiment, la consommation d'énergie de la pompe est réduite. Les EVV peuvent permettre de s'assurer que les pompes fonctionnent à leur pleine efficacité dans des conditions de charge partielle. La puissance requise pour faire fonctionner une pompe de moteur est proportionnelle au cube de sa vitesse. Par exemple, dans un système de pompe à EVV, une réduction de charge qui entraîne une réduction de 10 % de la vitesse du moteur réduit la consommation d'énergie de 27 %[34]. À l'aide de contrôles appropriés, les vitesses plus lentes de la circulation de l'eau de chauffage grâce aux pompes à EVV peuvent aussi être coordonnées avec un calendrier de réinitialisation de la température de l'eau chaude pour répondre aux charges avec plus de précision et d'efficacité. Par exemple, il sera possible de répondre plus efficacement aux faibles charges de chauffage de l'eau en créant de l'eau de chauffage plus chaude et en ralentissant la circulation de l'eau pour économiser la consommation d'énergie de la pompe.

- **Remplacer les brûleurs :** De nouveaux brûleurs pour tous les types de chaudières et de combustibles sont offerts sur le marché, et bon nombre de fournisseurs offrent des pièces pour le réaménagement et la modification, question d'éviter le remplacement complet. Bien souvent, on peut ainsi apporter des améliorations importantes qui reviennent moins cher que le remplacement complet.

[34] La formule est $1 - (0,9)^3 = 0,27$

Le potentiel de gains d'efficacité des nouveaux brûleurs est fonction de la différence entre les anciennes et les nouvelles technologies. Les quantités de combustible et de combustible imbrûlé (provenant d'une combustion incomplète) et la quantité d'air excessif entre les anciens et les nouveaux brûleurs sont garants du potentiel d'amélioration du rendement. En outre, la taille du brûleur et son débit moyen (c.-à-d. sa capacité de fonctionner efficacement à des charges partielles) auront une incidence sur les pertes associées à des faibles charges inefficaces et la fonction du cycle marche-arrêt.

En ce qui a trait à la capacité et au débit moyen, la plupart des brûleurs présentent un taux de variation de débit (rapport de la capacité à plein régime à la capacité minimale avant la fermeture) de 10:1 ou 12:1 avec une faible perte sur le plan de l'efficacité de la combustion, voire aucune. Cependant, certains brûleurs présentent des taux de variation de débit de 20:1. Un taux de variation de débit plus élevé réduit les démarrages et l'usure du brûleur ainsi que la nécessité d'effectuer des purges d'air, en plus de permettre un meilleur contrôle des charges, tous des facteurs qui améliorent l'efficacité globale.

- **Installer des turbulateurs dans les chaudières à tubes de fumée :** Les turbulateurs sont des appareils qui créent une turbulence dans les échangeurs de chaleur, y compris les tubes de chaudières contenant des flammes, créant un plus grand contact thermique avec les parois du tube. Ce procédé entraîne un meilleur transfert thermique par les parois du tube et une perte de chaleur moins importante par les flux d'air évacué. Par conséquent, ils permettent d'économiser sur les coûts de chauffage en exigeant moins de combustible pour produire la même chaleur.

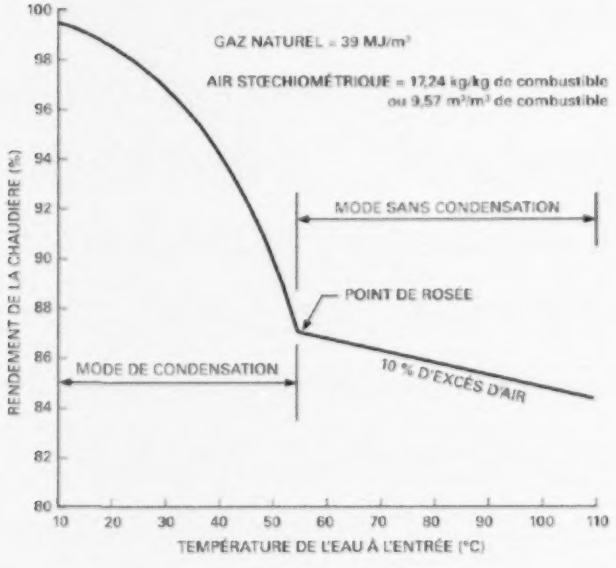
Si le **remplacement** est votre meilleure option, quatre mesures peuvent être considérées : chaudières à condensation à haut rendement, chaudières sans condensation (à modulation) à haut rendement, systèmes hybrides et thermopompes.

- **Remplacer le système par une chaudière à condensation :** La technologie de condensation récupère l'énergie latente contenue dans les gaz de combustion condensés — une partie de cette énergie est normalement perdue par la cheminée dans d'autres systèmes de chauffage. Grâce à la technologie de condensation, la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion se condense sur les surfaces relativement froides de l'échangeur de chaleur de la chaudière, transférant ainsi la chaleur dans l'eau de cette dernière. La chaleur produite par la condensation est directement transmise dans l'eau de la chaudière, minimisant les pertes thermiques des gaz de combustion. L'efficacité saisonnière des chaudières à condensation peut atteindre jusqu'à 97 %.

PARTIE 1

Le coût initial des chaudières à condensation est plus élevé que celui des chaudières traditionnelles sans condensation. Le défi que doit relever le concepteur est de s'assurer que la température de l'eau qui retourne à la chaudière demeure en deçà de 54,4 °C (130 °F); autrement, l'efficacité de la chaudière diminue considérablement, comme l'illustre la figure 15, et la chaudière à condensation fonctionne en mode sans condensation. Dans ces conditions, la prime payée pour l'efficacité élevée du système à condensation est perdue, diminuant ainsi le rendement des investissements. Un réaménagement majeur peut offrir l'occasion de redimensionner les serpentins du terminal afin d'assurer une température de l'eau de retour appropriée.

Figure 15.Température de l'eau de retour et incidence sur l'efficacité de la chaudière



Source : ©ASHRAE, ashrae.org, *2012 ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment* (en anglais seulement)

- **Remplacer le système par une chaudière à modulation :** Une chaudière à modulation ajuste son rendement en captant la température de l'air extérieur ou de l'air de retour et en ajustant ensuite le taux d'allumage aussi bas que possible pour répondre aux besoins de chauffage. La modulation permet des économies en améliorant l'efficacité dynamique durant les périodes de charges légères. Elle offre aussi un suivi exact des charges et un contrôle précis des températures, tout en minimisant la perte d'énergie. Les chaudières à modulation atteignent une efficacité pouvant aller jusqu'à 88 % et sont le choix le plus judicieux dans les contextes où les demandes de chauffage ne permettent pas des températures de l'eau de retour inférieures à 54,4 °C (130 °F).
- **Remplacer le système par un système de chaudières hybride :** Un système de chaudières hybride consiste en des chaudières à condensation et sans condensation contrôlées de façon à atteindre une efficacité maximale pendant la saison de chauffage. Selon la conception du système et la perte de chaleur du bâtiment, les températures de distribution de l'eau peuvent ne pas convenir à une chaudière à condensation. C'est souvent le cas en présence de conditions de chauffage de pointe. Par conséquent, lorsque les températures extérieures sont à leur plus froid, il est plus économique de faire fonctionner une chaudière sans condensation à modulation, étant donné que les températures élevées de l'eau de retour ne permettront pas le fonctionnement d'une chaudière à condensation. Cependant, durant la plus grande partie de la saison, lorsque les demandes de chauffage sont passablement inférieures à la demande de pointe, les températures de l'eau d'alimentation peuvent être diminuées, et les températures de l'eau de retour peuvent être en deçà du seuil de 54,4 °C (130 °F) pour le fonctionnement d'une chaudière avec condensation.

  Pour surmonter ces écarts saisonniers de la demande, un système qui utilise une plus petite chaudière à condensation durant les saisons intermédiaires et une plus grande chaudière sans condensation durant l'hiver offrira un meilleur rendement du capital investi. Le système hybride active la chaudière à condensation jusqu'à ce que les températures de l'eau de retour ne permettent plus le fonctionnement de l'appareil à condensation. À ce point, le système active la chaudière sans condensation à modulation et désactive la chaudière à condensation.

Les chaudières à étages sont une option moins coûteuse que les chaudières à modulation. Plutôt que d'avoir l'éventail complet d'options d'allumage ajustable par modulation, les chaudières à étages offrent un pourcentage d'allumage prédéfini. Par exemple, une chaudière à quatre étages aura quatre taux d'allumage progressifs (100 %, 75 %, 50 % et 25 % du taux d'allumage maximum). Ces unités coûtent moins cher que les unités à modulation, mais sont aussi moins efficaces.

Chaudières alimentées à la biomasse

Les chaudières alimentées à la biomasse constituent une solution de rechange aux chaudières au propane, au mazout ou électriques pour les écoles rurales n'ayant pas accès au gaz naturel. La chaudière alimentée à la biomasse la plus appropriée est un appareil qui brûle des granulés de bois en raison des fonctions offertes d'autoalimentation et de contrôle du taux de combustion. Comme le montre le tableau 4, les granulés de bois sont l'option la moins dispendieuse lorsque le gaz naturel n'est pas disponible. Des silos peuvent être utilisés pour stocker de grandes quantités de granulés, et on peut avoir recours à des distributeurs automatiques pour alimenter les chaudières. Les chaudières peuvent être installées soit dans la salle des chaudières, soit dans un local isolé. Règle générale, c'est cette dernière option qui a la moins grande incidence sur le bâtiment existant.

Tableau 4. Coût et efficacité des types de combustibles de chaudière à la biomasse

Type de combustible	Coût du combustible*	Efficacité	$ le gigajoule**
Chauffage à résistance électrique	0,14 $ le kWh	1,0	38,89 $
Thermopompe	0,14 $ le kWh	Coefficient de performance moyen de 2,5	15,56 $
Mazout n° 2	1,28 $ le litre	0,83	39,75 $
Propane	0,77 $ le litre	0,83	36,65 $
Gaz naturel	0,33 $ le mètre cube	0,83	10,39 $
Bois de chauffage***	28 $ le mètre cube (100 $ la corde)	0,83	17,65 $
Granulés de bois	220 $ la tonne métrique (200 $ la tonne)	0,83	13,92 $

* Le prix varie selon la région.

** $ le gigajoule : dollars le gigajoule de chaleur acheminée au bâtiment.

*** En supposant un mélange 50-50 d'érable et de hêtre à une teneur en humidité de 20 %. Prix d'une corde de 4 pi sur 8 pi sur 16 po (1,2 m^3), fendue et livrée. En théorie, l'efficacité de toutes les chaudières au bois est la même que celle des chaudières à gazéification.

Une option hybride est aussi disponible. Pour réduire les coûts d'investissement, la chaudière à granulés peut être dimensionnée de façon à répondre à 60 % de la charge de chauffage du bâtiment. Le système de chauffage aux granulés produirait environ 80 % de l'énergie de chauffage du bâtiment, tandis qu'une chaudière au propane neuve ou existante fonctionnerait durant la demande de pointe et servirait de système secondaire.

PARTIE 1

Exemple :
Sieur de Coulonge (Mansfield, Québec) et
Cité de la Haute-Gatineau (Maniwaki, Québec)

Dans le cadre d'un grand projet de réaménagement de la commission scolaire, des chaudières alimentées à la biomasse ont été installées dans ces deux écoles. Les chaudières répondent à l'essentiel de la demande de chauffage des écoles, et des granulés de bois provenant de résidus forestiers locaux, qui autrement seraient enfouis, servent de combustible. Sur l'ensemble de ses projets de réaménagements, qui comprennaient également l'installation de systèmes géothermiques et des améliorations à l'éclairage, la commission scolaire Hauts-Bois-de-l'Outaouais a réussi à économiser environ 450 000 $ par année sur les coûts énergétiques et à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 54 %. Ces améliorations importantes ont été rendues possibles grâce à la conclusion de contrats de services énergétiques intégrés, une approche approfondie de réaménagements énergétiques qui aborde le bâtiment dans son ensemble et fournit des garanties de rendement qui ciblent les coûts de projet les plus bas et les économies d'énergie les plus élevées.

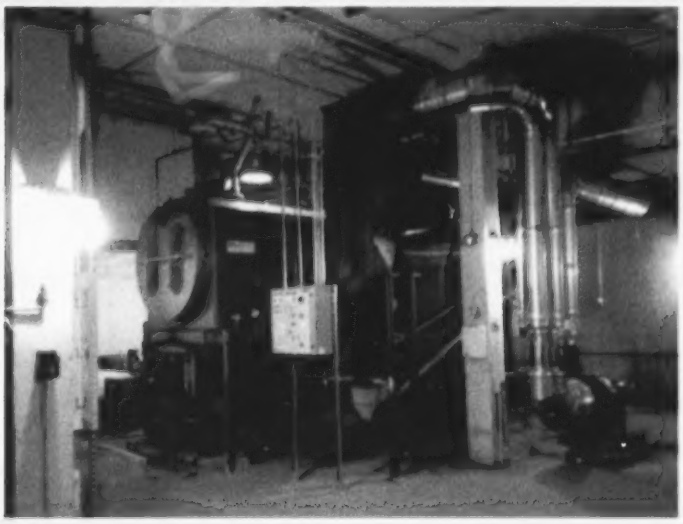


Photo fournie par Ecosystem.

PARTIE 1

- **Remplacer le système par un système de thermopompe :** Les thermopompes transfèrent la chaleur en faisant circuler un réfrigérant par les serpentins d'un échangeur de chaleur, effectuant un cycle d'évaporation et de condensation. Dans un serpentin (l'évaporateur), le réfrigérant est évaporé à basse pression et absorbe la chaleur avoisinante. Le réfrigérant est ensuite comprimé lors du trajet vers l'autre serpentin (le condensateur), où il se condense à haute pression. À ce point, il libère la chaleur absorbée dans l'évaporateur. Le cycle de la thermopompe est réversible, c'est-à-dire que la chaleur peut être absorbée dans l'environnement intérieur et libérée à l'extérieur, ou absorbée dans l'environnement extérieur et libérée à l'intérieur. Les thermopompes peuvent utiliser l'air, le sol ou un plan d'eau comme source d'énergie. Les unités utilisant le sol sont fréquemment appelées thermopompes géothermiques. Une thermopompe géothermique peut fonctionner en boucle ouverte, où l'eau du sol ou de surface circule vers la thermopompe, ou en boucle fermée, où un fluide circule dans une boucle fermée et effectue l'échange de chaleur à travers les parois de la tuyauterie. Les systèmes peuvent être centralisés ou distribués pour un contrôle et une distribution dans des zones multiples.

  Les thermopompes distribuées utilisées dans les systèmes à DRV comportent des avantages sur le plan de l'efficacité par rapport aux systèmes centralisés et peuvent être alimentées soit par thermopompe à air, soit par échangeur géothermique, soit par une chaudière centrale. L'avantage de ces systèmes est que la chaleur peut être échangée directement dans la boucle du bâtiment, réduisant ainsi la charge thermique imposée à l'échangeur géothermique ou à la chaudière centrale. Consultez la mesure *Installer un système à débit de réfrigérant variable* dans la section Réaménagements du système de distribution de l'air pour plus de détails.

Thermopompes à air

Les thermopompes à air effectuent un échange d'énergie avec l'air extérieur. En mode de refroidissement, elles extraient la chaleur du flux d'air intérieur et la rejettent dans l'air extérieur. En mode de chauffage, elles absorbent la chaleur à basse température de l'air extérieur et la réchauffent (par compression) pour ensuite la rejeter dans le flux d'air intérieur. Sous un climat dominé par le chauffage, une thermopompe à air peut avoir du mal à elle seule à répondre aux besoins de chauffage d'un bâtiment; un supplément de chaleur provenant d'autres sources est généralement nécessaire.

Des percées ont été réalisées ces dernières années pour étendre la performance en mode de chauffage aux températures extérieures plus froides. Les thermopompes appartenant à cette nouvelle gamme de pompes conçues pour les climats froids offrent une pleine capacité de chauffage jusqu'à –15 °C et une capacité de chauffage réduite jusqu'à –25 °C. La capacité de ces pompes à chaleur ne dépasse pas 14 kW (4 tonnes), ce qui limite leur application aux petits bâtiments ou aux bâtiments où les systèmes de traitement de l'air bibloc sont acceptables.

PARTIE 1

Thermopompes géothermiques

Les thermopompes géothermiques nécessitent l'installation d'une boucle souterraine qui peut être horizontale (tranchées) ou verticale (puits). La capacité de la thermopompe à boucle fermée dépend de la longueur du conduit de la boucle d'échange dans le sol. Une thermopompe géothermique présente un rendement relativement constant en raison des températures stables dans le sol ou le plan d'eau. Le rendement est exprimé en tant que coefficient de performance (COP) qui se situe typiquement entre 3 et 4, ce qui signifie que pour chaque unité d'électricité consommée, trois ou quatre unités d'énergie sont produites.

Le remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement de l'air conventionnels par des thermopompes géothermiques permet généralement d'économiser entre 15 % et 25 % de la consommation d'énergie totale dans les bâtiments commerciaux[35]. En plus des économies d'énergie, les thermopompes géothermiques réduisent la demande d'électricité de pointe en été en raison de la moins grande puissance requise pour le refroidissement.

Les thermopompes géothermiques ont de plus faibles coûts d'exploitation qui contribuent considérablement à la rentabilité le long de leur cycle de vie. La technologie est moins susceptible à la défaillance, nécessite environ 25 % moins de réfrigérant (en comparaison des systèmes de réfrigération à l'air de taille similaire), nécessite moins d'entretien et a une durée de vie utile plus longue que les autres technologies de chauffage et de refroidissement, et elle ne fait appel à aucun équipement extérieur qui serait soumis aux intempéries ou autres risques physiques (p.ex. branches, accidents de construction, vandalisme). Cependant, sous un climat dominé par le chauffage, et dans un contexte où les coûts d'électricité sont élevés et les coûts du gaz naturel sont bas, les réaménagements vers des thermopompes peuvent être financièrement moins attrayants que les autres options de chauffage et de refroidissement. De plus, étant donné que les charges de refroidissement des bâtiments dans les écoles sont beaucoup moins importantes que les charges de chauffage, il se crée un déséquilibre pour ce qui est de l'énergie échangée avec un puits de chaleur terrestre. Au fil du temps, un important déséquilibre, caractérisé par une quantité de chaleur extraite plus importante que la quantité de chaleur retournée, entraînera une réduction du COP de la thermopompe.

Les conditions sont plus favorables lorsque l'école n'a pas accès au gaz naturel, et surtout lorsque l'équipement existant est à la fin de sa durée de vie utile attendue et que son remplacement est nécessaire sans égard aux gains d'efficacité qui en découlent. Des calculs et des estimations détaillés des coûts et des économies d'énergie annuelles au cours de la durée de vie utile attendue du système de thermopompe devraient être effectués pour évaluer de façon appropriée la faisabilité financière d'un projet donné.

[35] Geothermal Heat Pumps Deliver Big Savings for Federal Facilities, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0291.

1 PARTIE

Exemple :
École L'Odyssée-des-Jeunes, Laval, Québec

Le système géothermique de cette école a été installé en 2011 au coût de 930 000 $, dont le tiers a été fourni par des incitatifs provenant des services publics et du gouvernement. Les économies annuelles sont de 62 000 $ pour une période de récupération simple de 10 ans.

« Pour réduire considérablement la consommation d'énergie requise pour chauffer* les écoles existantes, les systèmes géothermiques peuvent être une bonne option à considérer,** affirme Jean-Sébastien Provencher, directeur de projet chez Ecosystem, l'entreprise de consultants en matière d'énergie embauchée par la commission scolaire pour effectuer les réaménagements. Le fait que les charges de chauffage et de climatisation peuvent être précisément établies dans les bâtiments existants facilite la conception du système en fonction des besoins réels. Cela limite le surdimensionnement, comme ça peut être le cas pour les bâtiments neufs, ce qui aide à réduire les coûts de construction et à maximiser la rentabilité. »

Photo fournie par Ecosystem.

* La réduction de la consommation d'énergie liée au chauffage est une priorité pour les écoles, puisque la majorité sont fermées durant l'été et que, par conséquent, les charges de refroidissement sont relativement faibles.

** Dépendra de la pertinence des conditions du sol et des tarifs d'énergie (des tarifs d'électricité bas font en sorte que les systèmes géothermiques sont plus rentables).

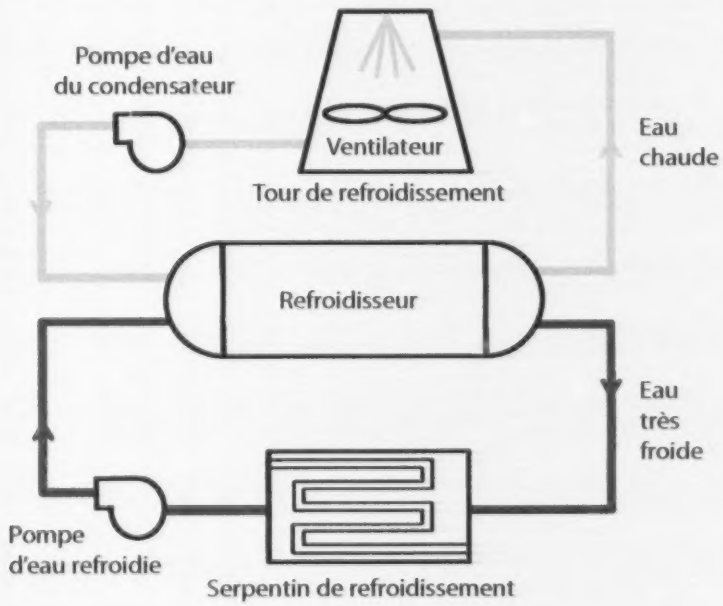
PARTIE 1

Systèmes de refroidissement centraux

De nombreuses écoles existantes ont un système limité de refroidissement des locaux, tandis que certaines autres n'en ont aucun; cependant, la tendance est en train de changer. Certaines installations neuves plus grandes et certaines écoles récemment rénovées ont commencé à installer des systèmes de refroidissement centraux. Afin de rendre compte de cette tendance, la section qui suit fournit une orientation aux écoles qui prévoient ajouter un système de refroidissement central aux bâtiments existants et aux écoles qui ont des systèmes de refroidissement centraux relativement récents.

Les refroidisseurs sont au cœur des systèmes de refroidissement centraux et sont souvent le point d'intérêt des évaluations de l'efficacité, principalement en raison des améliorations sur le plan des contrôles et de la technologie offertes par les fabricants. Cependant, se préoccuper uniquement de l'efficacité du refroidisseur n'entraînera pas nécessairement les économies d'énergie les plus intéressantes. La meilleure manière de produire des économies sur le plan de la consommation d'énergie et de la demande est de considérer le fonctionnement global du système de refroidissement à l'aide d'une approche intégrée. La figure 16 montre un exemple d'un système de refroidissement type. Les pompes et les ventilateurs du système, par exemple, ont un rôle à jouer pour ce qui est de proposer l'approche la plus rentable.

Figure 16. Centrale de refroidissement



PARTIE 1

Efficacité du système de refroidissement

En supposant la présence de bonnes conditions de fonctionnement, bon nombre de refroidisseurs à compresseurs centrifuges anciens ont un COP à pleine charge d'environ 4,0 (efficacité opérationnelle à pleine charge pour une capacité de refroidissement de 0,80 kW/tonne). La majorité des refroidisseurs à haute efficacité modernes ont un COP à pleine charge d'environ 7,0 (efficacité opérationnelle à pleine charge de 0,50 kW/tonne). Fait plus important encore, les nouveaux refroidisseurs ont une efficacité plus élevée à charge partielle que les anciens modèles. Étant donné que la majorité des refroidisseurs fonctionnent dans des conditions de charge partielle 95 % du temps ou plus, l'efficacité opérationnelle améliorée pour les charges partielles est une caractéristique clé pour réaliser des économies de coûts intéressantes.

Les systèmes de refroidissement à l'eau sont complexes et, en ce sens, présentent de nombreuses possibilités de réaménagements énergétiques. L'approche recommandée est de rechercher des possibilités qui permettront de faire des économies en amont. Par exemple, en réduisant la résistance dans la tuyauterie, un concepteur peut être capable de réduire les coûts d'investissement en spécifiant une pompe et un refroidisseur plus petits. En commençant par les valves pour terminer par le ventilateur de la tour de refroidissement, on peut économiser sur les coûts d'investissement en amont et les coûts d'énergie.

Une approche systématique et intégrée est un élément clé pour l'amélioration de l'efficacité globale d'un système de refroidissement. C'est important pour deux raisons. La première, c'est qu'il est difficile de généraliser au sujet de possibilités spécifiques. L'installation du système de refroidissement le plus rentable exige une conception propre au bâtiment, qui tient compte des prix de l'énergie et de la demande, du profil de charge du bâtiment, du climat local, des caractéristiques du bâtiment, des calendriers opérationnels et des caractéristiques de fonctionnement à charge partielle des refroidisseurs disponibles. La seconde, c'est qu'une modification à la conception ou au fonctionnement d'un composant du système a souvent une incidence sur le rendement des autres composants. Par exemple, un accroissement du flux d'eau refroidie peut améliorer l'efficacité du refroidisseur, mais la puissance de pompage supplémentaire requise peut entraîner une *réduction* généralisée de l'efficacité du système. Les cinq mesures suivantes s'appliquent :

PARTIE 1

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (systèmes de refroidissement centraux)

- ✓ Éliminer les valves d'étranglement du débit
- ✓ Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites
- ✓ Contrôler les pompes des refroidisseurs à l'aide d'entraînements à vitesse variable
- ✓ Installer un refroidisseur à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée
- ✓ Installer des économiseurs à l'eau pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel lorsque les conditions météorologiques le permettent

Il est important de noter que la liste des mesures recommandées pour le système de refroidissement exige une évaluation technique détaillée pour déterminer quelles mesures appliquer et l'ampleur des économies.

- **Éliminer les valves d'étranglement du débit :** Cette mesure permet de réduire la consommation d'énergie de la pompe et de retourner moins de chaleur au refroidisseur. Si des valves sont installées pour contrôler le débit du flux afin de respecter le débit de conception, les mesures d'économies d'énergie comprennent l'ouverture complète des valves et la conversion en contrôles de vitesse variable, l'ajustement de la roue ou un contrôle étagé des pompes.

- **Remplacer les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées par des unités à haute efficacité de capacité appropriée pour les charges réduites :** La plupart des moteurs à induction qui alimentent les pompes atteignent une efficacité de pointe à environ 75 % de la charge et sont moins efficaces lorsqu'ils fonctionnent à pleine charge. Lorsque c'est possible, les pompes devraient être dimensionnées de façon à ce que durant la majeure partie de leur temps de fonctionnement, elles fonctionnent selon le facteur de charge le plus efficace, ou presque. Si une pompe est surdimensionnée, elle aura tendance à fonctionner selon un facteur de charge inefficace et à introduire une puissance réactive dans le système électrique, ce qui pourrait se traduire par des frais des services publics d'électricité associés à un faible facteur de puissance.

- **Contrôler les pompes des refroidisseurs à l'aide d'entraînements à vitesse variable :** Les EVV peuvent permettre de s'assurer que les pompes fonctionnent à leur pleine efficacité dans des conditions de charge partielle. La puissance requise pour faire fonctionner un moteur de pompe est proportionnelle au cube de sa vitesse. Par exemple, dans un système de pompe équippé d'un EVV, une réduction de charge qui entraîne une réduction de 10 % de la vitesse du moteur réduit la consommation d'énergie de 27 %[36]. Cependant, il est nécessaire de s'assurer que la vitesse de circulation de l'eau dans les refroidisseurs est maintenue à des niveaux sécuritaires. À l'aide de contrôles appropriés, la vitesse de circulation de l'eau refroidie, ralentie par les pompes à EVV, peut aussi être coordonnée avec un calendrier de réinitialisation de la température de l'eau

[36] La formule est $1 - (0.9)^3 = 0.27$.

PARTIE 1

refroidie pour répondre aux charges avec plus de précision et d'efficacité. Par exemple, il sera possible de répondre plus efficacement aux faibles charges de refroidissement en créant de l'eau refroidie plus froide et en réduisant la vitesse de circulation de l'eau pour diminuer la consommation d'énergie de la pompe.

- **Installer un refroidisseur à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée :** Lors de l'installation d'un nouveau refroidisseur, choisissez-en un qui sera plus efficace dans les conditions réelles dans lesquelles il devra fonctionner. Même si le rendement d'un refroidisseur peut varier considérablement selon la charge et d'autres conditions, les concepteurs choisissent souvent les refroidisseurs en fonction de leur efficacité à pleine charge dans des conditions standards. Cependant, les refroidisseurs passent la plus grande partie de leur temps de fonctionnement dans l'éventail de charges de 40 % à 70 % et dans des conditions pouvant différer considérablement des conditions standards. Pour choisir le refroidisseur qui aura les coûts de fonctionnement les plus bas, déterminez dans quelles conditions réelles fonctionnera l'appareil et considérez ensuite l'efficacité de son fonctionnement dans ces conditions.

- **Installer des économiseurs à l'eau pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel lorsque les conditions météorologiques le permettent :** En présence de bonnes conditions climatiques, les économiseurs à l'eau peuvent économiser une grande quantité d'énergie en utilisant l'air extérieur relativement frais pour refroidir l'eau, au lieu du refroidisseur. Dans de nombreuses régions du Canada aux climats froids et secs, les économiseurs peuvent répondre à plus de 75 % des besoins de refroidissement.

  Le type le plus commun est un économiseur *indirect* qui utilise un échangeur de chaleur séparé. Ce système permet de contourner complètement le refroidisseur et de transférer la chaleur directement du circuit d'eau refroidie à la boucle d'eau du condensateur. Lorsque la température du thermomètre mouillé est assez basse, le refroidisseur peut être éteint, et la charge de refroidissement peut être prise en charge exclusivement par la tour de refroidissement.

Résumé des améliorations du système de refroidissement

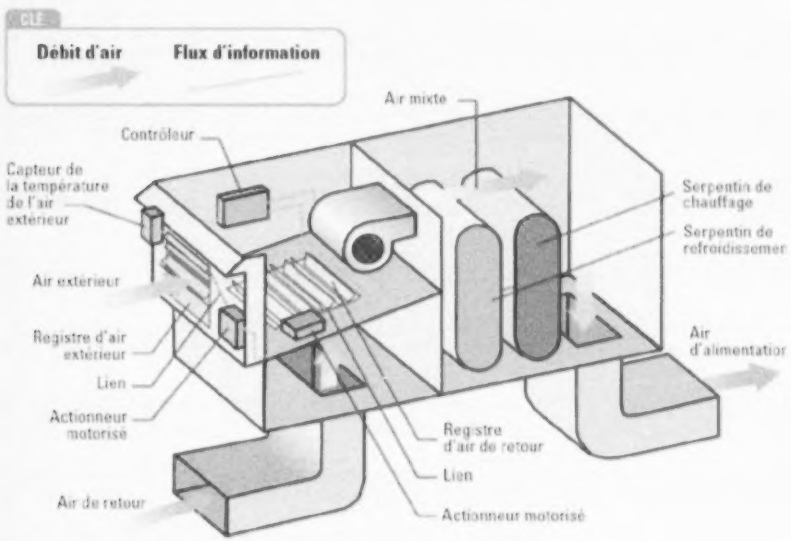
Avant de donner suite à une ou l'autre des possibilités énumérées dans les présentes directives, il est important d'évaluer le rendement du système de refroidissement en tant que système intégré. Bien que l'approche intégrée exige plus d'efforts que le simple choix de mesures indépendantes, elle procure plus d'économies. Les pompes, ventilateurs et compresseurs dotés d'EVV offrent une flexibilité et une efficacité opérationnelle accrues, mais nécessitent un système de contrôle qui peut coordonner leur fonctionnement avec le reste du système. Les contrôles existants peuvent ne pas être en mesure d'offrir les fonctions avancées nécessaires pour un fonctionnement efficace et, par conséquent, devraient eux aussi être améliorés.

PARTIE 1

Unités de toit

Plus d'un tiers de la superficie utile des bâtiments commerciaux et institutionnels canadiens est conditionné par des unités de toit intégrées et autonomes[37]. Les unités de toit sont habituellement configurées avec un système de combustion au gaz naturel ou des éléments électriques pour le chauffage et un mode de refroidissement par détente directe (DX). Dans certains cas, elles possèdent aussi des roues ou des noyaux de récupération de chaleur. Elles peuvent aussi être configurées avec une thermopompe ou, dans de rares cas, le chauffage de l'unité peut provenir d'un serpentin d'eau chaude alimenté par un système de chaudières central. De plus, les unités peuvent être à débit constant ou à débit variable. La figure 17 illustre la configuration type d'une unité de toit.

Figure 17. Configuration type d'une unité de toit



Source : EPA des É.-U.

L'efficacité des unités de toit s'est considérablement améliorée au cours des 15 dernières années, et des options de technologies de réaménagements axées sur les contrôles sont maintenant offertes qui peuvent permettre des économies supérieures à 50 %. Selon l'efficacité et l'âge de l'unité de toit, le remplacement complet ou des réaménagements pourraient être rentables. Par exemple, si l'unité a 15 ans (la durée de vie utile attendue) ou plus, le remplacement est alors probablement la meilleure option. Si l'unité n'a que 5 ans, un réaménagement pourrait être une option viable. De plus, si un système de distribution à débit d'air

[37] Ressources naturelles Canada. 2000. *Enquête sur la consommation d'énergie dans les bâtiments commerciaux et institutionnels.*

constant est remplacé par un système à débit d'air variable, le remplacement de l'unité de toit sera alors nécessaire pour fournir l'approvisionnement en air variable avec rétroaction de contrôle de la part des boîtes de distribution.

L'efficacité de chauffage des anciennes unités de toit peut varier de 60 % à 75 %, tandis que les nouvelles unités peuvent atteindre une efficacité de 80 % dans le cas des unités sans condensation, et jusqu'à 90 % pour les unités à condensation.

Le tableau 5 illustre à quel point les normes d'efficacité d'ASHRAE pour les systèmes de refroidissement ont évolué.

Tableau 5. Évolution des normes d'efficacité des unités de toit

90.1-1999	90.1-2000	90.1-2004	90.1-2010		CEE palier II		Défi pour les unités de toit
EER	EER	EER	EER	IEER	EER	IEER	IEER
8,7	10,1	10,1	11,0	11,2	12,0	13,8	18,0

Les paramètres d'efficacité du refroidissement suivants pour les unités de toit sont définis par l'Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI), une association professionnelle représentant les fabricants d'appareils de climatisation :

- Le taux de rendement énergétique (EER, pour l'anglais, *energy efficiency ratio*), défini comme étant le taux de refroidissement en Btu/heure divisé par la puissance en watts à des conditions de pleine charge, est une mesure de l'efficacité à pleine charge. La puissance inclut les puissances des compresseurs, des moteurs des ventilateurs et des contrôles.
- Le taux de rendement énergétique intégré (IEER, pour l'anglais, *integrated energy efficiency ratio*), défini comme étant l'efficacité de refroidissement à charge partielle sur la base du fonctionnement pondéré à diverses capacités de charge, s'applique aux unités de toit ayant des capacités de refroidissement égales ou supérieures à 19 kW (5,4 tonnes).
- Le taux de rendement énergétique saisonnier (SEER, pour l'anglais, *seasonal energy efficiency ratio*) exprime l'évaluation saisonnière en fonction des charges résidentielles représentatives, contrairement à l'EER, qui exprime l'efficacité à un point d'évaluation unique. Le SEER ne s'applique qu'aux unités de toit ayant une capacité de refroidissement de moins de 19 kW. Bien que les unités de moins de 19 kW alimentées par un courant triphasé soient classées comme étant commerciales, elles utilisent toujours le paramètre SEER résidentiel. Cela s'explique du fait que ces petites unités sont comparables aux unités alimentées par un courant monophasé utilisées dans les applications résidentielles, qui ont une large part de marché dans cet éventail de capacité. Les vieilles unités de moins de 19 kW ont souvent un SEER aussi bas que 6.

Le Consortium for Energy Efficiency (CEE), une organisation à but non lucratif qui fait valoir l'adoption de technologies écoénergétiques, a défini la recommandation d'efficacité énergétique minimale de palier 1 de 1993 comme ayant un EER d'au moins 10,3, 9,7, et 9,5, respectivement, pour les catégories petites, grandes et très grandes unités de toit.

Sous les auspices de la campagne sur les unités de toit du Department of Energy des États-Unis, qui fait valoir l'adoption d'unités de toit écoénergétiques, les spécifications en matière d'efficacité ont augmenté à un IEER minimal de 18 pour les unités de 35 à 70 kW (10 à 20 tonnes) en tant que défi auprès des fabricants. L'industrie a répondu favorablement à ce défi, et plusieurs fabricants offrent déjà des unités qui répondent à ce seuil de rendement aggressif, dont bon nombre sont offertes sur le marché canadien.

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (unités de toit)

- ✓ Convertir le système à débit constant en système à débit variable avec ventilation selon la demande et un économiseur
- ✓ Ajouter un contrôle au compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement
- ✓ Ajouter un registre d'économiseur
- ✓ Ajouter la fonction de récupération de chaleur ou d'énergie
- ✓ Remplacer les unités de toit

Le réaménagement des unités de toit pour faire des économies d'énergie se fait habituellement sous la forme de contrôles, plutôt que l'ajout d'un équipement conçu pour économiser l'énergie (comme un système de récupération de chaleur) ou le remplacement du moteur. Cependant, il existe des possibilités d'ajouter un équipement conçu pour économiser l'énergie dans certains cas. Dans la catégorie de **réaménagement**, les quatre mesures suivantes sont applicables :

- **Convertir le système à débit constant en système à débit variable avec ventilation selon la demande et un économiseur :** Dans le marché actuel, il existe deux technologies intégrées qui sont jugées acceptables par les services publics pour les programmes d'incitatifs à la conservation. Pour ce qui est des unités de toit à DAC de plus de 26 kW (7,5 tonnes), on trouve sur le marché une trousse de réaménagement complètement intégrée du contrôle avancé d'unité de toit qui convertit un système à DAC en système à DAV avec ventilation selon la demande et un économiseur. Une étude sur le terrain menée par le Pacific Northwest National Laboratory[38] a fourni une analyse indépendante de cette technologie, dont les résultats ont démontré une réduction de la consommation d'énergie annuelle normalisée des unités de toit variant entre 22 % et 90 %, avec une moyenne de 57 % pour toutes les unités.

[38] Advanced Rooftop Control (ARC) Retrofit: Field-Test Results. pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22656.pdf (en anglais seulement).

PARTIE 1

- **Ajouter un contrôle au compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement :** Pour ce qui est des unités de toit plus petites que 26 kW, des contrôleurs intégrés qui réduisent la consommation d'énergie pour la climatisation de l'air sont disponibles. Ces appareils contrôlent les cycles du compresseur pour diminuer le temps de fonctionnement tout en continuant à offrir la capacité de refroidissement attendue de l'unité. Les systèmes de climatisation de l'air sont habituellement conçus pour répondre aux conditions de charge de pointe, plus une marge de sécurité, et fonctionnent continuellement jusqu'à ce que le point de consigne de température de la pièce est atteint. Cependant, dans la majorité des conditions opérationnelles, le rendement maximal n'est pas requis, et le système est surdimensionné pour la charge. De simples contrôleurs qui détectent la saturation thermodynamique de l'échangeur de chaleur éteignent le compresseur pour éviter le surrefroidissement. L'expérience de l'industrie a démontré qu'on peut faire des économies d'énergie de refroidissement de 20 % en moyenne.
- **Ajouter un registre d'économiseur :** Certains modèles d'unités de toit peuvent fonctionner avec un registre d'économiseur en tant qu'option du fabricant. Dans les cas où le registre n'était pas inclus dans le choix du produit original, l'ajout d'un économiseur permettra des économies d'énergie.
- **Ajouter la fonction de récupération de chaleur ou d'énergie :** Similairement, certains modèles d'unités de toit peuvent fonctionner avec des ventilateurs de récupération de chaleur ou d'énergie en tant qu'options du fabricant. Dans les cas où ces options n'étaient pas incluses dans le choix de produit original, leur ajout permettra des économies d'énergie.

L'analyse de rentabilisation se présente souvent favorable au **remplacement** des unités de toit existantes par de nouvelles unités à haute efficacité. Compte tenu du potentiel d'économies combinées sur le chauffage et le refroidissement de 50 % ou plus, il peut parfois être rentable de remplacer les unités de toit avant la fin de leur durée de vie attendue.

- **Remplacer les unités de toit :** Le remplacement d'une unité de toit existante procurera de nombreux gains d'efficacité, surtout lorsque les unités à haute efficacité comportent des spécifications concernant les ventilateurs et les compresseurs à vitesse variable, la récupération d'énergie et le chauffage à condensation. Les unités de toit sont dimensionnées selon leur capacité de refroidissement (en kilowatts ou en tonnes), leurs capacités de chauffage nominales étant déterminées en fonction de cette capacité de refroidissement. Il faut porter une attention particulière aux spécifications des produits afin de déterminer les options de combustion des gaz à haut rendement. Le remplacement des unités de toit existantes par une nouvelle génération d'unités avancées procurera de nombreux gains d'efficacité et un confort accru des occupants grâce à un meilleur contrôle. Des percées importantes sur le plan du rendement des unités de toit ont été effectuées depuis 2011. De plus, lorsque

Le Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) a créé un **calculateur comparatif d'unités de toit** (pnnl.gov/uac/costestimator/main.stm [en anglais seulement]), qui permet de comparer l'équipement à haute efficacité avec l'équipement standard relativement au coût du cycle de vie.

Cet outil de calcul en ligne fournit des estimations relatives au coût du cycle de vie, à la période de récupération, au rendement du capital investi et au rapport économies-investissements. Les simulations utilisent des emplacements aux États-Unis pour les conditions météorologiques; cependant, dans le cas des emplacements canadiens ayant les mêmes zones climatiques, l'outil peut fournir une estimation raisonnable de l'analyse coûts-avantages.

vous considérez un remplacement de l'équipement, sa capacité devrait être revue pour s'assurer qu'elle sera appropriée. L'équipement devrait aussi être configuré en fonction du contrôle de la ventilation selon la demande (VSD). Voici quelques-unes des caractéristiques offertes par les unités de toit avancées de nouvelle génération :

- boîtiers isolés pour une efficacité énergétique et une acoustique améliorées;
- contrôle du chauffage multiétages ou à modulation avec taux de variation de débit de 10:1;
- chauffage de type à condensation avec AFUE jusqu'à 94 %;
- moteurs de ventilateur à commutation électronique à vitesse variable;
- compresseurs à vis à vitesse variable offrant une efficacité supérieure à charge partielle;
- récupération de chaleur et d'énergie provenant de l'air évacué;
- contrôle de la ventilation selon la demande à l'aide de capteurs de CO_2;
- option de thermopompe;
- SEER jusqu'à 18; IEER jusqu'à 21;
- surveillance à distance de la consommation d'énergie et des opérations.

Eau chaude domestique

Même si le chauffage de l'eau représente seulement une petite portion de la consommation totale d'énergie dans les écoles du Canada (~ 6 %), il est possible de faire des économies d'énergie.

Liste des mesures relatives au chauffage et au refroidissement (eau chaude domestique)

- ✓ Installer des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit
- ✓ Programmer le système de recirculation
- ✓ Remplacer la chaudière ou le chauffe-eau par une unité plus efficace
- ✓ Éteindre le chauffe-eau central l'été et installer un chauffe-eau à la demande dans les espaces dédiés

- **Installer des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit :** Les robinets et les pommes de douche à débit réduit permettent de réduire la consommation d'eau chaude. L'installation des appareils sanitaires à consommation d'eau réduite est la mesure la moins coûteuse pour réduire la consommation d'énergie, et les remplacements peuvent être effectués facilement par le personnel d'entretien. Parmi les produits offerts, certains ont des débits aussi faibles que 0,95 l/min pour ce qui est des robinets et 4,7 l/min pour ce qui est des pommes de douche.

PARTIE 1

- **Programmer le système de recirculation :** Dans certaines écoles, une pompe en ligne fait circuler l'eau chaude dans le système de distribution d'eau domestique afin que l'eau chaude soit immédiatement disponible pour utilisation. Le fait de programmer la circulation pour qu'elle ne s'effectue que durant les heures d'occupation permet d'économiser l'énergie électrique associée à l'utilisation de la pompe. Les pertes thermiques par les conduits de circulation sont également réduites. La méthode la plus simple de programmer la pompe de recirculation est d'ajouter une minuterie et de la programmer pour correspondre aux heures d'occupation. Pour les employés travaillant hors des heures normales d'occupation, il n'y aura pas immédiatement d'eau chaude provenant du robinet.

- **Remplacer la chaudière ou le chauffe-eau par une unité plus efficace :** Les chaudières et les chauffe-eau de plus de 20 ans fonctionnent à des efficacités situées entre 60 % et 80 %. Ils peuvent être remplacés par de nouvelles unités qui atteignent une efficacité aussi élevée que 95 % dans le cas des systèmes à condensation.

- **Éteindre le chauffe-eau central l'été et installer un chauffe-eau à la demande dans les espaces dédiés :** Durant les mois d'été (juillet et août), les écoles sont souvent vides, à l'exception du personnel d'entretien et des entrepreneurs effectuant le nettoyage ou l'entretien des lieux ou des travaux de réparation. Durant cette période de faible occupation, l'énergie peut être économisée en éteignant le système d'eau chaude central et en dédiant un local d'entretien et une toilette ou deux pour l'utilisation pendant l'été. Ces espaces peuvent être aménagés avec des chauffe-eau électriques à la demande pour éliminer les pertes à vide.

  Les chauffe-eau à la demande n'ont pas de réservoir, puisqu'ils chauffent l'eau au moment où elle circule dans l'échangeur de chaleur. Ces types de chauffe-eau sont environ 20 % plus efficaces que les chauffe-eau à réservoir alimentés au gaz naturel[39,40], et les économies sont attribuables à l'absence de pertes de stockage, caractéristiques des systèmes à réservoir conventionnels.

  Les chauffe-eau à la demande se présentent sous deux formes de base. Les petites unités électriques montées près du point de consommation sont très utiles lorsqu'il n'y a qu'un ou deux cabinets de toilette. Les grandes unités centralisées et alimentées au gaz naturel conviennent davantage lorsqu'il y a plusieurs cabinets de toilette. Les chauffe-eau sans réservoir sont généralement plus coûteux que le type à stockage, et une analyse complète des coûts de propriété peut être utile pour déterminer si un avantage économique s'y rattache.

[39] ENERGY STAR. Produit certifié ENERGY STAR. Chauffe-eau. energystar.gov/productfinder/product/certified-water-heaters/results

[40] Ressources naturelles Canada. Office de l'efficacité énergétique. Cote de rendement énergétique. Chauffe-eau à gaz. oee.nrcan.gc.ca/pml-lmp/index.cfm?language_langue=fr&action=app%2Esearch-recherche&appliance=WATERHEATER_G

PARTIE 1

IMPORTANT : La gestion de la Legionella dans les systèmes d'eau chaude et d'eau froide

La bactérie Legionella se trouve fréquemment dans l'eau et peut se multiplier là où les substances nutritives sont disponibles et lorsque les températures se situent entre 20 °C et 45 °C. La bactérie reste dormante sous 20 °C et ne survivra pas au-dessus de 60 °C. La maladie du légionnaire est un type de pneumonie potentiellement fatale, contractée en inhalant des gouttelettes d'eau en suspension dans l'air contenant la bactérie Legionella viable.

Le risque de contracter la bactérie peut être contrôlé au moyen de la température de l'eau. Le stockage de l'eau chaude devrait atteindre au moins 60 °C. L'eau chaude devrait être distribuée à 50 °C ou plus (à l'aide de vannes mélangeuses à trois voies thermostatiques pour prévenir l'ébouillantage). Ces critères de température devraient être respectés au moment de concevoir tout réaménagement à votre système d'eau chaude domestique.

Pour en savoir plus, consultez l'American Society of Plumbing Engineers (ASPE) *2005 Data Book – vol. 2*, chapitre 6, Domestic Water Heating Systems Fundamentals.

Ressources naturelles Canada offre plusieurs ressources et conseils pour vous aider à améliorer l'efficacité énergétique de vos bâtiments.

- Guide de recommissioning pour les propriétaires et les gestionnaires de bâtiments
- Guide des pratiques exemplaires en matière de gestion de l'énergie
- Guide sur la formation en gestion de l'énergie
- Améliorer le rendement énergétique de votre bâtiment : Introduction à l'analyse comparative énergétique
- Analyse comparative énergétique pour les écoles du préscolaire au secondaire

Pour ces ressources et d'autres, visitez notre site Web au rncan.gc.ca/energie/efficacite/eefb/batiments/13563

Courriel : info.services@rncan-nrcan.gc.ca

Sans frais : 1 877 360 5500

PARTIE 2

COMMISSION SCOLAIRE DU COMTÉ DE SIMCOE : UNE ÉTUDE DE CAS

L'école élémentaire Trillium Woods, une des écoles qui a été réaménagée, a bénéficié d'une transformation énergétique tout en optimisant les atouts qu'elle possédait déjà. La consommation d'énergie totale a diminué de 68 %.

Photo fournie par la Commission scolaire du comté de Simcoe

Économiser argent et énergie grâce à une approche d'équipe, des politiques et des normes en matière d'énergie et un modèle de financement durable.

> « L'adoption d'une approche d'équipe en matière de conservation de l'énergie est essentiel au succès, et la diversité de l'équipe est importante. Les programmes de conservation de l'énergie viables nécessitent plus qu'une simple participation des personnes œuvrant habituellement dans le domaine de la gestion d'énergie; vous devez faire participer la commission, le personnel, les enseignants et les élèves. »
>
> Jessica Kukac, coordonnatrice de systèmes environnementaux, Commission scolaire du comté de Simcoe

La Commission scolaire du comté de Simcoe (CSCS), un des plus importants systèmes d'éducation publique de l'Ontario, possède 106 écoles et centres d'apprentissage répartis sur 4 800 km^2 dans le comté de Simcoe, dans le centre-sud de l'Ontario.

Incitatifs à l'action

En 2009, le ministère de l'Éducation de l'Ontario a créé l'initiative Écoles écoénergétiques. Ce fonds de 550 millions de dollars a couvert les coûts associés aux vérifications énergétiques, aux réaménagements énergétiques et au remplacement des équipements. Les fonds étaient alloués en fonction du nombre d'écoles de chaque commission scolaire; la CSCS a reçu plus de 9,6 millions de dollars sur deux ans. Elle a aussi reçu des incitatifs des services publics, entre autres l'Ontario Power Authority, Enbridge et Union Gas, pour la réalisation de projets de réaménagements précis.

PARTIE 2

En vertu de la *Loi de 2009 sur l'énergie verte et l'économie verte* de l'Ontario, la commission a aussi préparé un plan de conservation et gestion de la demande d'énergie (CGDE) sur cinq ans, qui comprend des cibles de consommation d'énergie et d'économies pour chaque école.

L'approche par phases en matière de réaménagements

Après avoir reçu le financement dans le cadre de l'initiative Écoles écoénergétiques, la commission a embauché Enerlife, une entreprise de consultants en gestion de l'énergie, pour définir les mesures de conservation. Des données sur la consommation d'énergie ont été recueillies auprès de chacune des 106 écoles et ensuite comparées avec celles d'autres écoles de la CSCS et d'autres commissions scolaires du Canada. Sur ce nombre, 35 écoles ont été définies comme étant des candidates optimales pour des améliorations de l'efficacité énergétique.

L'analyse comparative des écoles a aidé à établir le type de mesures de réaménagement qui entraîneraient des économies optimales. À la suite d'une vérification du rendement de chaque école, les mesures ont ensuite été affinées.

« Le financement de l'initiative Écoles écoénergétiques a fourni l'occasion de réaménager et d'améliorer les systèmes, des mesures qui se sont traduites par une compensation de la consommation d'énergie et l'évitement d'une portion des coûts des services publics, affirme Kayla Kalalian, coordonnatrice de systèmes environnementaux de la commission. Nous nous affairons maintenant à examiner les données ayant trait aux services publics et à définir la prochaine série d'écoles qui seront réaménagées. Les économies d'énergie issues de cette phase serviront à payer les coûts se rattachant à la prochaine phase des réaménagements. »

Qu'est-ce qui a été fait?

Les projets de réaménagement de la commission scolaire s'inscrivaient dans trois catégories : réaménagements mécaniques et recommissioning, éclairage, et système de contrôle automatique de bâtiment.

« Nous avons été surpris de constater que certaines de nos plus récentes écoles comportant de nombreuses caractéristiques technologiques intégrées ne performaient pas aussi bien que ce à quoi nous nous serions attendus, mentionne M^me^ Kalalian. L'analyse comparative nous a montré comment, dans certains cas, de simples changements opérationnels pourraient améliorer l'efficacité énergétique d'une école. »

L'analyse comparative a démontré ce qui pouvait être réalisé. La vérification énergétique a permis d'établir le pourquoi, le où et le comment – les ventilateurs, l'éclairage, l'automisation des systèmes, etc.

PARTIE 2

Des mesures de commissioning comme celles réalisées à Trillium Woods ont été réalisées à 18 des 35 écoles pour des économies d'énergie annuelles totale de 280 000 $.

Réduction de la consommation d'énergie :

Demande d'électricité : 480 kW

Consommation d'électricité : 1 800 000 kWh

Consommation de gaz naturel : 340 000 m^3

Économies d'énergie totales : 19 000 GJ

Commissioning de bâtiments existants

Malgré le fait que l'École élémentaire Trillium Woods ait été construite en 2004, le rendement énergétique avait diminué entre 2009 et 2010. Une enquête a révélé des débits d'air en deçà des niveaux de conception et une puissance des ventilateurs et des thermopompes qui correspondait au double de la norme pour qu'un système soit jugé efficace. On a rapidement donné suite à bon nombre de ces mesures à cibles faciles.

Les modifications apportées au système de CVCA ont permis d'améliorer le débit d'air et de réduire la consommation d'électricité. Entre autres mesures qui ont été prises, mentionnons le nettoyage et la réparation des prises d'air et des filtres à air, le redimensionnement approprié des thermopompes de l'école, la réduction de la puissance des ventilateurs et la modification de certains contrôles.

Systèmes de contrôle automatique de bâtiments

À neuf écoles, les systèmes de contrôle automatique de bâtiments ont été remplacés ou modifiés pour utiliser le plus efficacement possible les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air. Les modifications effectuées aux contrôles ont consisté à trouver les équipements laissés en fonction la nuit (et à les éteindre), à limiter le recours à la climatisation de l'air lorsque les conditions météorologiques sont fraîches et à l'éliminer complètement avant le 1 mai et après le 30 septembre.

Éclairage

À 23 des 35 écoles, l'éclairage a été amélioré grâce à l'installation de lampes T8 de 25 W dans les salles de classe et les couloirs, et de lampes T5 dans les gymnases; des capteurs d'occupation ont aussi été ajoutés. Le nombre de luminaires a été réduit, et les contrôles de bâtiment ont été modifiés pour mieux correspondre à l'occupation réelle.

À l'école secondaire de Bradford, le remplacement des lampes 32 W par des 25 W, l'installation de capteurs d'occupation et l'utilisation de lampes DEL et de luminaires T5 ont permis de réduire la consommation d'électricité annuelle de 19 %.

« Grâce à ce processus, nous avons développé une norme d'éclairage qui fait partie de notre guide des normes et politiques, souligne M^{me} Kalalian. Des niveaux d'éclairage et des densités de puissance sont établis pour différents types de pièces, et la norme est maintenant incluse dans les documents d'appels d'offres. »

PARTIE 2

Avantages majeurs

- ✓ Entre 2009 et 2013, les réaménagements effectués aux 35 écoles ont permis à la CSCS d'économiser plus de 3,5 millions de dollars en coûts énergétiques, près du quart du budget énergétique annuel consacré aux écoles.
- ✓ En appliquant les mêmes approches aux autres écoles de la commission scolaire, on peut réduire la consommation d'énergie selon une proportion supplémentaire de 30 %, générer 1 M$ de plus en économies et réduire les émissions de gaz à effet de serre de plus de 5 000 tonnes.
- ✓ La commission a établi des normes et des pratiques exemplaires pour tous les futurs projets de nouvelle construction et de réaménagement, notamment en ce qui a trait aux procédures opérationnelles et au nouvel équipement.
- ✓ Les économies d'énergie des 35 premières écoles ont été réinvesties dans le financement de futurs réaménagements d'écoles, de formations opérationnelles et d'ateliers sur les pratiques exemplaires.
- ✓ Au cours des dernières années, la CSCS s'est classée parmi les dix premières commissions scolaires du pays en ce qui a trait au rendement énergétique.

Surveillance et vérification

La consommation d'énergie de la majorité des écoles est surveillée mensuellement à l'aide d'une combinaison de méthodes, soit le système de contrôle automatique de bâtiment, les compteurs par intervalle et la base de données sur la consommation d'énergie du ministère de l'Éducation.

De plus, des cibles d'intensité énergétique ont été élaborées pour les écoles neuves et existantes en fonction du rendement réel des meilleures écoles. Les cibles pour les écoles élémentaires et secondaires existantes sont de 0,47 GJ/m^2 (12 kWh éq/pi. ca.) et de 0,58 GJ/m^2 (14 kWhéq/pi. ca.), respectivement, et celles pour les écoles élémentaires et seconcaires neuves sont de 0,39 GJ/m^2 (10 kWh éq/pi. ca.) et de 0,47 GJ/m^2 (12 kWhéq/pi. ca.), respectivement. Ces cibles sont alignées sur le 25^e percentile d'ENERGY STAR Portfolio Manager et sur l'*Advanced Energy Design Guide for K-12 Schools* d'ASHRAE, qui vise à atteindre une réduction de la consommation d'énergie de 50 % par rapport à la norme 90.1-2004. Plus d'un quart des écoles de la commission scolaire ont déjà atteint ces cibles, et plusieurs autres sont en voie de les atteindre.

PARTIE 2

Formation et éducation

Pour tirer profit des économies potentielles découlant des changements opérationnels gratuits et à faibles coûts, deux ateliers ont été donnés pour les membres du personnel de la commission scolaire, les gardiens en chef, les opérateurs et les directeurs ou directeurs adjoints d'écoles spécifiques, en février et en mars 2010. Le groupe de chaque école a travaillé ensemble à l'élaboration d'un plan d'action complet pour leur école. Tous les participants avaient accès à un système de données en ligne afin de pouvoir suivre les résultats de leurs mesures.

De plus, les gardiens en chef doivent suivre un cours sur les systèmes de communication et de fonctionnement des bâtiments, donné par la commission dans diverses écoles du district.

« Les gardiens sont les opérateurs de ces bâtiments et, de ce fait, ont un rôle important à jouer sur le plan de la conservation de l'énergie, mentionne M^me^ Kukac. Lorsqu'ils ont leur mot à dire concernant le fonctionnement des bâtiments, un sentiment de propriété s'installe en eux, et ils ressentent naturellement une plus grande fierté envers leur travail et leur école. »

La commission a aussi adopté le programme ÉcoÉcoles de l'Ontario en 2008, dans le cadre duquel 22 écoles ont obtenu des certifications à différents degrés. La majorité des écoles ont aussi établi des équipes vertes, qui jouent un rôle important en faisant participer les élèves, les parents et les enseignants aux initiatives d'intendance environnementale.

Comment notre école peut-elle profiter de l'expérience de Simcoe?

M^me^ Kalalian souligne que le fardeau le plus lourd de la commission était de trouver le capital nécessaire pour les projets d'efficacité énergétique. « Avant l'initiative Écoles écoénergétiques, le financement était limité pour réaliser en particulier ce genre de réaménagements écoénergétiques. Notre plan de CGDE a été conçu pour nous autofinancer afin de pouvoir continuer à rendre nos écoles le plus écoénergétiques possible. »

M^me^ Kalalian a fait remarquer « qu'il est important que la conservation de l'énergie soit prise en compte lors du financement de la construction d'écoles. Étant donné l'augmentation des coûts des services publics, les besoins d'entretien, les modèles changeants des conditions météorologiques et les populations grandissantes, la conservation de l'énergie à long terme commence dès le processus de conception. On devrait tester les bâtiments, surtout les neufs, pour s'assurer qu'ils fonctionnent conformément à leur norme de conception et que tout écart est immédiatement corrigé. Cela permettra d'éviter d'avoir à réaménager des bâtiments neufs cinq ans après leur ouverture. »

PARTIE 2

Bien que chaque école ait des problèmes différents en matière d'énergie, M^me^ Kalalian affirme que bon nombre des réaménagements les plus communs peuvent être reproduits dans de nombreux types de bâtiments, toutes tailles confondues. Les améliorations à l'éclairage, par exemple, sont des projets relativement simples à réaliser. Grâce aux normes de la CSCS relativement à l'éclairage et à d'autres équipements et systèmes, il est aussi beaucoup plus facile pour les écoles d'observer les pratiques exemplaires.

« Nous avons développé des normes d'intensité énergétique pour nous assurer qu'il y aura une continuité dans tous les futurs projets de réaménagement et de conception d'écoles neuves, mentionne M^me^ Kalalian.

Voyant le succès obtenu par la CSCS grâce à son programme de réaménagement, M^me^ Kalalian recommande que les vérifications et le commissioning de bâtiments existants soient une première étape. « En fonctionnant ainsi, on sera certain d'avoir une approche systématique et personnalisée pour chaque bâtiment, ce qui permettra d'optimiser les économies d'énergie. »

Globalement, M^me^ Kukak a conseillé aux commissions scolaires de mettre en place une approche d'équipes dédiées à la conservation de l'énergie. « Les éléments essentiels sont d'avoir des équipes d'entretien, de conception et de construction qui sont attentives et communiquent leurs idées, et d'avoir une commission et un conseil qui rendent hommage au succès de ces programmes et le communiquent à la grande communauté de la commission scolaire. »

> « Étant donné le coût toujours en hausse de l'électricité et du gaz naturel, nous devons faire de gros efforts pour économiser l'énergie de toutes les manières possibles pour aider à compenser le budget croissant des services publics. En raison du travail que nous avons fait dans le cadre des programmes d'efficacité énergétique, nous avons réussi à maintenir un budget des services publics stable malgré les augmentations récentes des coûts des services publics. »
>
> Kayla Kalalian

PARTIE 3 MON INSTALLATION

La section qui suit fournit un résumé des mesures de réaménagement applicables aux écoles du préscolaire au secondaire sous forme de questionnaire. Cet outil vient compléter ENERGY STAR Portfolio Manager en donnant une orientation sur la façon de fixer des objectifs d'amélioration en fonction de votre cote ENERGY STAR.

Les prochaines étapes appropriées pour votre installation dépendront de votre cote ENERGY STAR :

- Si votre **cote est basse**, vous êtes probablement un bon candidat pour investir dans des **réaménagements majeurs**. En effet, des investissements dans des réaménagements majeurs en respectant une approche par phases aura vraisemblablement la plus grande incidence sur vos résultats.
- Si votre **cote est moyenne**, vous êtes probablement un bon candidat pour investir dans des **ajustements**. Les possibilités d'ajustement à votre installation peuvent impliquer une combinaison de mesures de réaménagements majeurs, des améliorations écoénergétiques moins complexes et des pratiques améliorées sur le plan de l'exploitation et de l'entretien.
- Si votre **cote est élevée**, vous devriez investir dans son **entretien**. En plus de maintenir votre rendement en vous concentrant sur l'optimisation continue des bâtiments, vous devriez évaluer périodiquement les possibilités de réaménagement majeur, surtout en ce qui a trait à la gestion de l'actif.

Le **questionnaire** est organisé par :

Phase des réaménagements : Chaque colonne de questions représente une phase précise des réaménagements. Les phases sont présentées de gauche à droite selon l'ordre de l'approche par phases recommandée dans les *Directives sur les réaménagements énergétiques majeurs* de RNCan : Module sur les principes.

Cote ENERGY STAR : Chaque colonne comporte des mesures représentées par des symboles de forme et de couleur uniques : Entretenir, Ajuster ou Investir.

❑ ENTRETENIR

❍ AJUSTER

◇ INVESTIR

Les installations qui sont de bons candidats pour les investissements devraient considérer toutes les mesures; les installations qui sont de bons candidats pour les ajustements peuvent choisir de concentrer leurs efforts sur les mesures Ajuster ou Entretenir; les installations souhaitant maintenir leur cote peuvent décider de se concentrer principalement sur les mesures Entretenir.

PARTIE 3

Instructions

1. Faites l'analyse comparative de votre installation à l'aide d'ENERGY STAR Portfolio Manager et déterminez votre cote ENERGY STAR.
2. Évaluez la nature des possibilités pour votre installation en répondant au questionnaire par oui, non ou sans objet. Le résultat devrait être une liste des possibilités pertinentes pour votre installation.
3. Consultez les sections du présent module pour en savoir plus sur les mesures pertinentes et confirmer leur applicabilité. Une fois que vous avez examiné ces détails, il se peut que vous trouviez que certaines possibilités ressorties dans cette liste devraient être marquées comme étant sans objet, ou qu'elles ne présentent aucun intérêt pour votre organisation.

Établissement des coûts rattachés aux mesures

Le rendement du capital investi pour des mesures précises varie considérablement en fonction de nombreux facteurs propres à l'installation et à son emplacement. Vous devriez toujours analyser les coûts et les économies en fonction de votre situation particulière. Cependant, les mesures marquées comme étant :

❑ **ENTRETENIR** comportent en général des mesures à faibles coûts avec des périodes de récupération de moins de trois ans.

○ **AJUSTER** comportent en général des mesures à faibles ou moyens coûts avec des périodes de récupération pouvant aller jusqu'à cinq ans.

◇ **INVESTIR** comportent souvent des mesures de remplacement à coûts élevés. Les périodes de récupération de ces mesures dépassent généralement cinq ans et, dans certains cas, peuvent devoir être justifiées par des travaux associés au renouvellement (p. ex. une amélioration de l'isolation du toit au moment de son remplacement en fin de vie utile). Ces mesures nécessitent dans l'ensemble des analyses financières détaillées pour assurer une bonne analyse de rentabilisation.

Mon installation – Résultats de l'analyse comparative

INTRANTS DE PORTFOLIO MANAGER

Superficie brute : _____

Nombre d'employés : _____

Nombre de places pour étudiants (nombre d'élèves) : ___

Superficie brute du gymnase : _____

% pouvant être chauffé et refroidi : _____

EXTRANTS DE PORTFOLIO MANAGER

Cote ENERGY STAR : _____

IE du site : _____

IE à la source : _____

IE médiane de la propriété : _____

CIBLES

Cote ENERGY STAR ciblée : _____

IE du site ciblée : _____

Figure 18. Interprétation de la cote ENERGY STAR

Adaptation du système d'évaluation du rendement énergétique de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis

École du préscolaire au secondaire – Questionnaire sur les possibilités

CxBE	Amélioration de l'éclairage	Réduction des charges supplémentaires	Amélioration des systèmes de distribution de l'air	Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement
❑ Les calendriers de contrôle de l'éclairage et d'occupation correspondent-ils? [p. 9]	**Aires principales**	**Charges électriques et équipement**	◇ Est-ce qu'il y a un système de VSD? [p. 42]	**Chauffage central**
❑ Le système de traitement de l'air fonctionne-t-il selon un calendrier? [p. 10]	❍ Les luminaires à lampe incandescente et au CFL fréquemment utilisés ont-ils été remplacés par des luminaires DEL? [p. 20]	❍ L'équipement est-il éteint lorsqu'il n'est pas requis? [p. 25]	◇ Le système à DAC de réchauffage multizone ou à deux conduits a-t-il été converti en système à DAV moderne? [p. 42]	◇ Le système de contrôle des chaudières a-t-il été remplacé? [p. 55]
❑ Les points de consigne de températures de zone sont-ils abaissés ou rehaussés durant les heures d'inoccupation? [p. 10]	❍ Les panneaux Sortie à éclairage incandescent ont-ils été remplacés par des panneaux DEL? [p. 21]	❍ Des contrôles ont-ils été ajoutés aux distributeurs automatiques? [p. 25]	◇ La capacité des ventilateurs et des moteurs est-elle appropriée? [p. 44]	◇ Les valves d'étranglement du débit ont-elles été éliminées? [p. 56]
	❍ Des capteurs d'occupation et d'inoccupation ont-ils été installés dans les salles de classe et autres pièces cloisonnées? [p. 21]	❍ De l'équipement ENERGY STAR est-il utilisé s'il y a lieu? [p. 25]	◇ Des EVV ont-ils été ajoutés aux pompes et aux ventilateurs qui ont des charges variables? [p. 44]	◇ Les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées ont-elles été remplacées par des unités efficaces de capacité appropriée? [p. 56]
		❍ A-t-on mis en place une politique concernant les appareils électriques personnels? [p. 25]		◇ Les pompes des chauffe-eau sont-elles contrôlées par EVV? [p. 56]

- ❑ L'équipement de traitement de l'air est-il doté d'un économiseur en bon état pour permettre le refroidissement naturel? [p. 10]
- ❑ Les valves des serpentins de chauffage sont-elles fermées durant la saison de refroidissement? [p. 11]
- ❑ La plage morte de températures de la zone est-elle suffisamment étendue? [p. 11]
- ❑ La température de l'air d'alimentation est-elle réinitialisée en fonction des conditions extérieures? [p. 11]
- ❑ Le taux de renouvellement de l'air a-t-il été testé et ajusté? [p. 11]
- ❑ Les registres d'air extérieur sont-ils fermés lors du réchauffement matinal durant la saison de chauffage? [p. 11]
- ❑ Une purge matinale est-elle effectuée régulièrement durant la saison de refroidissement? [p. 12]

- ◇ Les luminaires fluorescents linéaires ont-ils été remplacés par des lampes à haute efficacité et des gradateurs? [p. 21]
- ◇ Des contrôles de l'éclairage en fonction des sources de lumière naturelle ont-ils été installés? [p. 21]
- ◇ L'éclairage à deux niveaux en fonction de l'occupation est-il utilisé dans les couloirs et les cages d'escalier? [p. 21]

Gymnase

- ○ Les panneaux Sortie à éclairage incandescent ont-ils été remplacés par des panneaux DEL? [p. 22]
- ◇ L'éclairage à DHI a-t-il été remplacé par un éclairage fluorescent en hauteur ou DEL? [p. 22]
- ◇ Des contrôles de l'éclairage en fonction des sources de lumière naturelle ont-ils été installés? [p. 22]
- ◇ Des capteurs d'occupation ont-ils été installés? [p. 22]

Extérieur/stationnement

- ○ L'éclairage extérieur et des stationnements a-t-il été remplacé par un éclairage DEL? [p. 23]
- ○ Des contrôles à photocellules ou à minuteries sont-ils utilisés? [p. 23]

- ○ Un programme de sensibilisation des employés à la consommation d'énergie a-t-il été mis en œuvre? [p. 27]
- ◇ Les transformateurs ont-ils été remplacés par des modèles écoénergétiques? [p. 27]

Enveloppe

- ◇ Les problèmes d'infiltration ont-ils été réglés? [p. 30]
- ◇ Un pare-air a-t-il été ajouté ou, s'il y en avait déjà un, amélioré? [p. 31]
- ◇ Les niveaux d'isolation du toit et des murs répondent-ils aux exigences du CNÉB? [p. 32]
- ◇ Les portes et fenêtres ont-elles été améliorées? [p. 33]

- ◇ Les filtres à air existants ont-ils été remplacés par des épurateurs d'air électroniques? [p. 44]
- ◇ La chaleur est-elle récupérée des flux d'air évacué? [p. 45]
- ◇ L'air extérieur est-il préchauffé par un système de chauffage de l'air solaire? [p. 46]
- ◇ Est-ce qu'il y a un système à DRV? [p. 46]
- ◇ Le système de distribution d'air mélangé a-t-il été remplacé par un système 100 % air extérieur? [p. 46]
- ◇ Le système de ventilation mixte a-t-il été remplacé par un système de ventilation par déplacement d'air? [p. 48]
- ◇ Des ventilateurs GVBV ont-ils été installés dans les gymnases? [p. 49]
- ◇ Des diffuseurs d'air à jets rotatifs à haute induction ont-ils été installés dans les gymnases? [p. 50]
- ◇ Les systèmes d'évacuation des ateliers ont-t-ils été réaménagés? [p. 51]

- ◇ De nouveaux brûleurs ont-ils été installés sur les chaudières existantes? [p. 56]
- ◇ Des turbulateurs ont-ils été installés dans les chaudières à tube de fumée? [p. 57]
- ◇ Une nouvelle chaudière à condensation a-t-elle été installée? [p. 57]
- ◇ Une nouvelle chaudière à modulation a-t-elle été installée? [p. 59]
- ◇ Un nouveau système hybride de chaudières a-t-il été installé? [p. 59]
- ◇ Un nouveau système de thermopompe a-t-il été installé? [p. 62]

Refroidissement central

- ◇ Les valves d'étranglement du débit ont-elles été éliminées? [p. 67]
- ◇ Les pompes d'efficacité standard ou surdimensionnées ont-elles été remplacées par des unités efficaces de capacité appropriée? [p. 67]
- ◇ Les pompes du système de refroidissement à l'eau sont-elles contrôlées par des EVV? [p. 67]
- ◇ Un refroidisseur à l'eau à haute efficacité de capacité appropriée a-t-il été installé? [p. 68]
- ◇ Des économiseurs à l'eau ont-ils été installés pour permettre aux tours de refroidissement de produire un refroidissement naturel? [p. 68]

École du préscolaire au secondaire – Questionnaire sur les possibilités (suite)

CxBE	Amélioration de l'éclairage	Réduction des charges supplémentaires	Amélioration des systèmes de distribution de l'air	Redimensionnement et remplacement des systèmes de chauffage et de refroidissement
❑ Le point de consigne de pression statique du système à DAV est-il automatiquement réinitialisé au moyen d'une boucle de rétroaction de contrôle en fonction des zones? [p. 12] ❑ Les registres de zone à DAV fonctionnent-ils adéquatement? [p. 12] ❑ Est-il possible de réduire les points de consigne minimaux des flux des boîtes à DAV? [p. 12] ❑ Les capteurs des systèmes de contrôle automatique de bâtiment ont-ils été calibrés récemment? [p. 13] ❑ A-t-on mis en place une stratégie de contrôle de la réinitialisation du chauffage de l'eau? [p. 13] ❑ A-t-on réparé l'isolation endommagée des conduits ou remplacé celle qui est manquante? [p. 13]				**Unités de toit** ◇ Le système à DAC a-t-il été converti en système à DAV avec contrôle de la demande et un économiseur? [p. 71] ◇ Des contrôleurs de compresseurs ont-ils été installés sur les unités de toit pour réduire le temps de fonctionnement? [p. 72] ◇ Des registres d'économiseur ont-ils été ajoutés? [p. 72] ◇ Un dispositif de récupération de chaleur ou d'énergie a-t-il été ajouté? [p. 72] ◇ Les unités de toit âgées ont-elles été remplacées par de nouvelles unités à haute efficacité? [p. 72] **Eau chaude domestique** ○ Des aérateurs et des pommes de douche à débit réduit ont-ils été installés? [p. 73] ○ Le système de recirculation de l'eau chaude a-t-il été programmé? [p. 74] ◇ Les chaudières à eau chaude ou les chauffe-eau ont-ils été remplacés par une unité à haut rendement? [p. 74] ◇ Le chauffe-eau central est-il éteint l'été, et un chauffe-eau à la demande a-t-il été installé dans un espace dédié? [p. 74]

Adaptation des salles de classe mobiles

○ Des thermostats programmables ont-ils été installés et ont-ils fait l'objet d'un processus de commissioning? [p. 52]

◇ Les problèmes d'infiltration ont-ils été réglés? [p. 52 et 30]

◇ Un pare-air a-t-il été ajouté ou, s'il y en avait déjà un, amélioré? [p. 52]

◇ Les systèmes de chauffage ont-ils été remplacés par des fournaises à haute efficacité? [p. 52]

◇ Les niveaux d'isolation du grenier, des murs et du sous-plancher répondent-ils aux exigences du CNÉB? [p. 52]

◇ Les portes et fenêtres ont-elles été améliorées? [p. 52 et 33]

◇ La chaleur est-elle récupérée des flux d'air évacué? [p. 52]

◇ Les luminaires fluorescents linéaires ont-ils été remplacés par des lampes à haute efficacité et des gradateurs? [p. 52 et 21]

◇ Des contrôles de l'éclairage en fonction des sources de lumière naturelle ont-ils été installés? [p. 52 et 21]